

VEKTORKARDIOGRAPHISCHE UNTERSUCHUNGEN
ZUR EINSCHÄTZUNG DES SCHWEREGRADDES
ANGEBORENER VALVULÄRER PULMONALSTENOSEN
IM KINDESALTER

*(Vergleich mit elektrokardiographischen,
phonokardiographischen und klinischen Befunden)*

Renate Oberprieler

1900

Dissertations- und Fotodruck ANNELIESE SCHUBERT
Corneliusstraße 21 · 8000 München 5 · Telefon 268177



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548319_0028

Aus der Kinderklinik des Deutschen Herzzentrums in München
Direktor: Prof. Dr. K. Bühlmeier

Vektorkardiographische Untersuchungen
zur Einschätzung des Schweregrades
angeborener valvulärer Pulmonalstenosen
im Kindesalter.

(Vergleich mit elektrokardiographischen,
phonokardiographischen und klinischen Befunden)

Inaugural - Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
an der Ludwig Maximilians-Universität zu München.

vorgelegt von
Renate Oberprieler
Freising
1980

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter:	Prof. Dr. K. Bühlmeier
Mitberichterstatter:	Prof. Dr. K. Betke
Dekan:	Prof. Dr. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 3. 7. 1980



EINLEITUNG:

Isolierte valvuläre Pulmonalstenosen erreichen einen Anteil von 8 - 11,6 % (2,18) an allen angeborenen Herzkrankheiten bei Kindern. Pathophysiologisch handelt es sich dabei um eine Obstruktion im Ausflußtrakt des rechten Ventrikels, die bei normalem Ursprung der Aorta und intaktem Vorhof- und Ventrikelseptum meist durch Verwachsungen und Verklebungen der Kommissuren einer tricuspidalen oder bicuspidalen Klappe zustande kommt. Seltener (15 % aller isolierten Pulmonalstenosen) (25) zeigt sich ein dysplastischer, verengter Klappenring ohne Verschmelzung der Kommissuren (26). Als Folge der Obstruktion kommt es zu einer konzentrischen Hypertrophie des rechten Ventrikels, einer muskulären Einengung des Ausflußtraktes und aufgrund der starken rechtsventrikulären Druckbelastung oft zu einer Insuffizienz der Trikuspidalklappe. Der Pulmonalarterienhauptstamm ist dilatiert und weist als Folge der veränderten Ausflußsituation des Blutstromes eine sog. "Jet-Läsion" auf (18).

Die durchschnittliche Lebenserwartung von Kindern mit isolierten valvulären Pulmonalstenosen beträgt 21 Jahre (1); durch entsprechende Operationsverfahren läßt sich diese Situation jedoch entscheidend bessern (8,14,25). Die Operationsindikation ist von der Genauigkeit der Diagnostik abhängig, mit welcher das Ausmaß der Pulmonalstenose im Einzelfall geschätzt werden kann. Die traditionelle Methode hierfür ist nach wie vor die Herzkatheteruntersuchung (6,29,36).

Nicht invasive Methoden (3), wie die klinische Untersuchung, Auskultation, Palpation und Perkussion (10,15,31) sowie die Technik der Elektrokardiographie (7,9,11) und der

Phonokardiographie (40,41) standen bei der Einschätzung des Schweregrades von Pulmonalstenosen bisher im Vordergrund.

Nicht invasive Untersuchungsmethoden sind nach wie vor wichtig und unentbehrlich für die Erkennung und Beurteilung von angeborenen valvulären Pulmonalstenosen, wenngleich die Aussagekraft ihrer Ergebnisse vor allem in Bezug auf die genaue Einschätzung des Schweregrades von Pulmonalstenosen nicht befriedigend ist. Aufgrund dessen ist es uns im Moment noch nicht möglich, auf die risikoreichere Untersuchungsmethode der Angiographie und Herzkatheteruntersuchung zu verzichten.

Wir haben uns in der folgenden Arbeit zum Ziel gesetzt, die Methode der Vektorkardiographie auf ihre Leistungsfähigkeit hinsichtlich der Erkennung und Beurteilung des Schweregrades von Pulmonalstenosen zu prüfen, sowie sie mit der Leistungsfähigkeit der bisher üblichen nicht invasiven Untersuchungsmethoden zu vergleichen.

Wir hofften, mit Hilfe der Vektorkardiographie oder einer kombinierten Betrachtungsweise mit den bisher gebräuchlichen Methoden der Klinik, der Elektrokardiographie und der Phonokardiographie, den Schweregrad von angeborenen valvulären Pulmonalstenosen so genau beurteilen zu können, daß die Indikation zu invasiven Untersuchungsmethoden strenger gestellt werden könnte und sich somit das Risiko für die zu untersuchenden Kinder verringern würde.

METHODIK:

Wir untersuchten 17 Patienten im Alter von 3 bis 17 Jahren mit angeborenen isolierten valvulären Pulmonalstenosen, die durch Herzkatheter und Angiokardiographie nachgewiesen wurden. Diese 17 Patienten wählten wir aus dem vorhandenen Krankengut aus, da nur bei ihnen der zeitliche Abstand aller benötigten Untersuchungen unter 5 Jahren lag. Das Durchschnittsalter unserer Patienten betrug 7,82 Jahre. Es waren 9 Mädchen und 8 Knaben. Die systolischen Druckgradienten zwischen rechtem Ventrikel und der Arteria pulmonalis betrugen 12 - 180 mm Hg, im Mittel 89,2 mm Hg. Wir teilten die 17 Patienten in vier Gradientengruppen ein: in der Gruppe mit einem systolischen Druckgradienten unter 50 mm Hg waren es drei, in der Gruppe zwischen 50 und 100 mm Hg waren es sieben, in der Gruppe zwischen 100 und 150 mm Hg waren es fünf und in der Gruppe über 150 mm Hg waren es zwei Patienten. Unsere Untersuchungen orientierten sich an den exakt gemessenen systolischen Druckgradienten zwischen rechtem Ventrikel und der Arteria pulmonalis, welcher ein genaues Maß für den Schweregrad von Pulmonalstenosen darstellt.

I) Wir untersuchten im vektorkardiographischen Bereich:

1. die Länge des rechtsmaximalen Raumvektors (RMSV) in mV,
2. die Länge des linksmaximalen Raumvektors (LMSV) in mV,
3. den Azimuth des RMSV in Winkelgraden,
4. die Elevation des RMSV in Winkelgraden,
5. die Dauer des QRS-Kammerkomplexes in msec.,
6. die Zeit, die der RMSV benötigt, seine maximale Ausdehnung zu erreichen, in msec.,
7. den Drehsinn der Vektorschleifen in allen Raumebenen.

II) im elektrokardiographischen Bereich:

1. die Höhe von R in V_1 in mV,
2. den Quotienten aus R/S in V_1 ,
3. die Differenz R-S in V_1 ,
4. die Summe von S in I + R in V_1 + S in V_6 ,
5. die Höhe von R in V_1 + S in $V_{5/6}$,
6. die Höhe von S in $V_{5/6}$,
7. die Höhe von R in aVR,
8. den Quotienten aus R/S in aVR,
9. die Höhe von R in VR_4 ,
10. die aufsteigende Tendenz der R-Zacken in den Extremitätenableitungen R I < R II < R III,
11. die absteigende Tendenz der T-Wellen in den Extremitätenableitungen T I > T II > T III,
12. ein negatives T mit konvexbogenförmig gesenkter ST-Strecke in V_1 , V_2 , II, III und aVF,
13. ein positives T in V_1 ,
14. ein P-pulmonale,
15. die Breite des QRS-Kammerkomplexes in V_1 in msec.

III) im phonokardiographischen Bereich:

1. den Abstand zwischen Q und dem Ejektions-Click in sec.,
2. die Breite der Spaltung des zweiten Herztones in msec.,
3. das Maximum des systolischen Geräusches in Relation zu dessen Gesamtlänge in %.

IV) im Bereich der klinischen Untersuchung:

1. die Lautstärke des systolischen Geräusches (Skala von I - VI),
2. die Stärke des zu palpierenden Schwirrens.

Wir setzten die Untersuchungsergebnisse all dieser Kriterien in Relation zu den jeweilig gemessenen tatsächlichen Druckgradienten und überprüften, inwieweit diese Kriterien in der Lage sind, eine Einschätzung des Schweregrades von Pulmonalstenosen zu ermöglichen.

TECHNIK:

Wir benützten für unsere vektorkardiographischen Untersuchungen das Gerät ICR INSTANT VCG von der Firma Instruments for cardiac research Inc., New York.

Die elektrischen Potentiale des Herzens leiteten wir nach der Methode nach Frank (42) ab. In diesem System werden die Ableitungselektroden wie folgt am Körper plaziert:

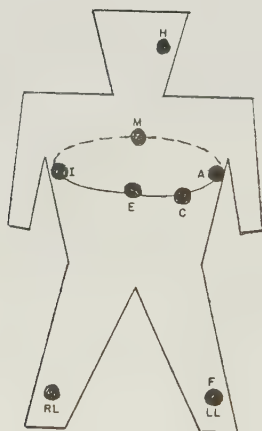
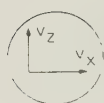
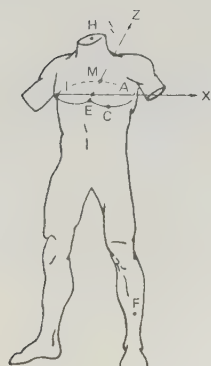


Abb. 1) Plazierung der Ableitungselektroden nach Frank. (42)

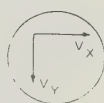
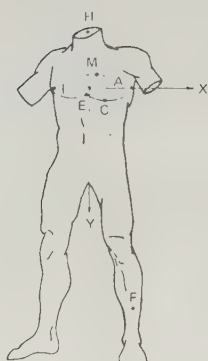
<u>Farbe</u>	<u>Elektrode</u>	<u>Plazierung</u>
blau	H	Halsrückseite
braun (E)	E	5. ICR vordere Mittellinie
braun (C)	C	gleiche Horizontalebene wie E, 45° zwischen vorderer Mittellinie und mittlerer Axillarlinie links
weiß	I	gleiche Horizontalebene wie E, mittlere Axillarlinie rechts
gelb	M	gleiche Horizontalebene wie E, hintere Mittellinie
rot	F, LL	linker Unterschenkel
schwarz	A	gleiche Horizontalebene wie E, mittlere Axillarlinie rechts
grün	RL	rechter Unterschenkel (Erdung)

Tab. 1) Plazierung der Ableitungselektroden nach Frank. (42)

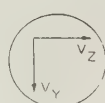
Es ist nun möglich, mit Hilfe spezieller Polungen der einzelnen Elektroden untereinander, die Projektion des elektrischen Hauptvektors des Herzens auf die drei Ebenen des orthogonalen Koordinatensystems darzustellen.



Horizontal-



Frontal-



Sagittal (links)-

Ebene

Abb. 2) Projektionen des elektrischen Hauptvektors des Herzens auf die drei Ebenen des orthogonalen Koordinatensystems. (42)

Wir erreichen nun einerseits durch die während einer Herzaktion vom Vektorkardiographen aufgezeichneten Bilder eine Projektion

der Bewegung und Länge des Hauptvektors auf die Horizontal-, Frontal- oder Sagittalebene, andererseits ergeben sich orthogonale Elektrokardiogramme durch Hinzunahme einer bestimmten Vorschubgeschwindigkeit in Richtung der x-, y- oder z-Achse, die uns die maximalen positiven und negativen Ausschläge auf den jeweiligen Achsen liefern.

Das ergibt nun für eine normale ungestörte Erregungsausbreitung des Herzens folgende Bilder:

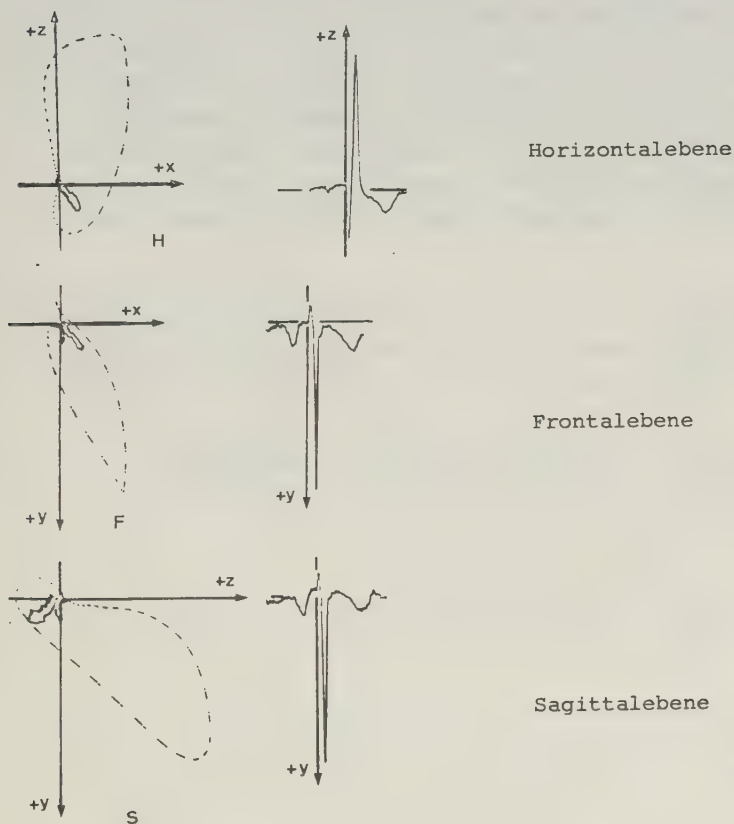


Abb. 3) Normale Vektorschleife und orthogonales Elektrokardiogramm nach Frank in den drei Raumebenen. (27)

Die Vektorschleifen werden im Punkt-Strich-System geschrieben, d.h. alle 2 msec. (bei gebräuchlicher Schreibweise) erfolgt eine Unterbrechung. Dieses System ist variabel, man kann auch erst alle 4 msec. unterbrechen oder aber eine nicht unterbrochene fortlaufende Schleife registrieren.

Die Vorschubgeschwindigkeit der orthogonalen Elektrokardiogramme läßt sich ebenso verändern: 50 mm/sec., 100 mm/sec. oder 200 mm/sec.; außerdem die Höhe des Skalenausschlags bei Vektorschleifen und orthogonalen EKGs: 10 mm/mV, 20 mm/mV, 40 mm/mV und 100 mm/mV.

Die Höhe des Skalenausschlags kann nun wiederum um die Faktoren 1, 2 und 4 (X_1 , X_2 , X_4) erhöht werden. Das obige Beispiel (Abb. 3) war mit einer Zeitunterbrechung von 500/sec., einem Vorschub von 100 mm/sec., einem Skalenausschlag von 20 mm/mV und einer Amplitudenvergrößerung von X_2 geschrieben worden.

Die Schreibweise im Punkt-Strich-System erlaubt eine leichte Bestimmung der Richtung der Vektorschleife und die Zuordnung zu den drei Hauptgruppen:

Uhrzeigersinn

Gegenuhrzeigersinn

∞ -Schleife



Abb. 4) Hauptrichtungen der Vektorschleifen.

In diesem Aufzeichnungssystem wird zuerst der Punkt und dann der Strich geschrieben, wodurch die Richtung der Vektorschleife eindeutig festgelegt ist.

Für unsere Auswertungen waren nun von größtem Interesse die Länge und Richtung der Raumvektoren zum Zeitpunkt ihrer größten Ausdehnung im Raum.

Für diese Bestimmung verwendeten wir die orthogonale Schreibweise des Frank'schen Systems, indem wir den Zeitpunkt der größtmöglichen Summe der orthogonalen Einzelvektoren x, y und z bestimmten und dann nach der Formel $\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ den räumlichen Maximalvektor errechneten.

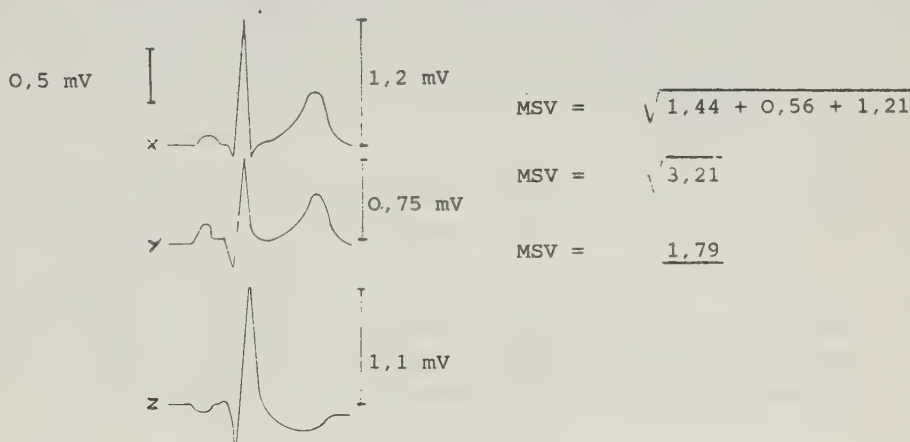


Abb. 5) Schema zur Bestimmung der Maximalvektoren.

Durch trigonometrische Winkelmessungen können wir die Lage der Projektion des räumlichen Maximalvektors auf die einzelnen Raumebenen bestimmen. Durch Errechnung der Projektion auf die Horizontal- und Sagittalebene erhalten wir den Azimuth (Winkel α des räumlichen Maximalvektors projiziert auf die

Horizontalebene) und die Elevation (Winkel β des räumlichen Maximalvektors projiziert auf die Sagittalebene).

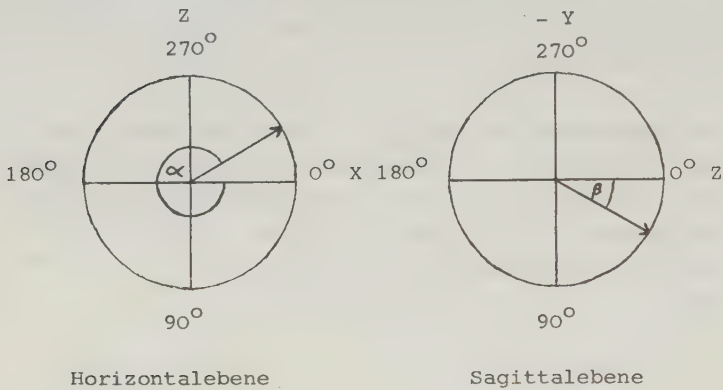


Abb. 6) Projektion des räumlichen Hauptvektors auf die Horizontal- und Sagittalebene. (27)

Die Winkel α und β lassen sich ohne weiteres aus den Projektionen auf die y- und z-Achse (für α) bzw. auf die x- und z-Achse (für β) nach trigonometrischen Regeln errechnen:

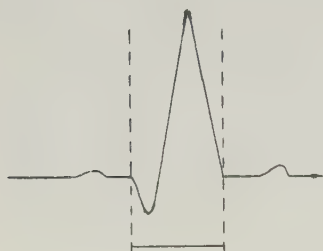
$$\tan \alpha = \frac{y}{z} \quad \text{bzw.} \quad \cotan \alpha = \frac{z}{y}$$

$$\tan \beta = \frac{z}{x} \quad \text{bzw.} \quad \cotan \beta = \frac{x}{z}$$

Mit diesen einfachen Rechnungen läßt sich nun die Lage des räumlichen Maximalvektors (RMSV) genau bestimmen.

Um die Dauer einzelner Aktionen genau zu messen, bedienen wir uns des orthogonalen Frank-Elektrokardiogramms. Für uns waren von Interesse:

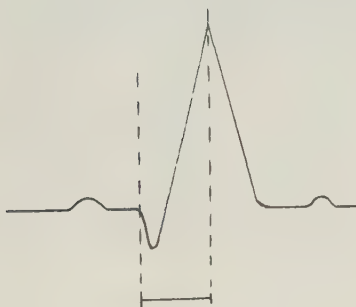
1. die Dauer des QRS-Kammerkomplexes
2. die Zeit zwischen Beginn des Kammerkomplexes und dem Erreichen des räumlichen Maximalvektors. Mit Hilfe der Vorschubgeschwindigkeit war beides leicht zu messen.



QRS-Dauer

Vorschub 100 mm/sec.

1 mm = 10 msec.



Q-RMSV-Zeit

Vorschub 100 mm/sec.

1 mm = 10 msec.

Abb. 7) Schema zur Messung der Dauer des QRS-Kammerkomplexes und der Zeit zwischen dessen Beginn und dem Erreichen des räumlichen Maximalvektors.

ERGEBNISSE:

I) Vektorkardiographische Kriterien:

- Wir haben bei allen 17 Patienten im Alter von 4 bis 18 Jahren den rechten räumlichen Maximalvektor (RMSV) gemessen und dabei Werte von 0,81 mV bis 2,68 mV gefunden. Dabei entsprach der kleinste Wert von 0,81 mV einem Druckgradienten zwischen dem rechten Ventrikel und der Arteria pulmonalis von 12 mm Hg, während der größte Wert von 2,68 mV einem Druckgradienten von 160 mm Hg entsprach. Der Durchschnittswert für den rechtsmaximalen Raumvektor betrug 1,65 mV. In Tabelle 2) setzen wir die gemessenen RMSV-Werte in Beziehung zu den vier Gradientengruppen: solche unter 50 mm Hg, zwischen 50 und 100 mm Hg, zwischen 100 und 150 mm Hg und solche über 150 mm Hg.

Gradient (mm Hg)	unter 50	50 - 100	100 - 150	über 150
RMSV (mV)	0,81	1,16	1,15	2,45
	1,00	1,18	1,55	2,68
	1,64	1,50	1,61	
		1,62	2,32	
		1,63	2,49	
		1,66		
		1,74		
Durchschnitts-				
werte (mV)	1,15	1,50	1,82	2,56

Tab. 2) Gemessene RMSV-Werte in Relation zu den vier festgesetzten Gradientengruppen.

Bei der Betrachtung der Durchschnittswerte für die vier Gradientengruppen zeigt sich eine klare Tendenz nach oben ($1,15 \text{ mV} < 1,5 \text{ mV} < 1,82 \text{ mV} < 2,56 \text{ mV}$) entsprechend dem Ansteigen des Druckgradienten. Dies wird durch den Korrelationskoeffizienten bestätigt, der für die Beziehung zwischen dem Druckgradienten und dem rechtsmaximalen Raumvektor einen Wert von $r = 0,71$ erreicht (vgl. Abb. 8). Um einen konkreten Bezug zur klinischen Situation zu erreichen, versuchten wir nun Grenzwerte im Bereich des RMSV zu finden, die uns zu besserer Beurteilung des Schweregrades von Pulmonalstenosen, bzw. dann auch zu klaren Konsequenzen in der Klinik führen könnten. Als ersten Grenzwert nahmen wir $1,1 \text{ mV}$. Ist der RMSV kleiner als $1,1 \text{ mV}$, so finden sich nur Gradienten unter 30 mm Hg . Im Bereich über $1,1 \text{ mV}$ finden wir zwar alle Patienten mit Gradienten über 30 mm Hg , aber auch einen mit einem Gradienten von 30 mm Hg . Wenn man nun die Grenze zur Indikationsstellung für eine Herzkatheteruntersuchung und eine eventuell anschließende Operation bei frühestens 50 mm Hg postuliert, so erlaubt unsere erste Trennlinie eine klare Aussage: bei RMSV-Werten unter $1,1 \text{ mV}$ kann man von einer Katheterisierung des Patienten absehen.

Eine klare Trennung von leichten und mittelschweren Pulmonalstenosen konnten wir nicht durchführen, da im Bereich der Werte für den rechtsmaximalen Raumvektor zwischen $1,1 \text{ mV}$ und $1,2 \text{ mV}$ bereits Gradienten von 75 , 100 und 110 mm Hg gefunden wurden.

Wir setzten nun einen weiteren Grenzwert bei $2,0 \text{ mV}$ fest. Dabei fanden wir, daß bei RMSV-Werten über $2,0 \text{ mV}$ nur noch Patienten mit einem Druckgradienten über 100 mm Hg auftauchten, während im Bereich unter $2,0 \text{ mV}$ nur drei Patienten mit Druckgradienten knapp über 100 mm Hg (110 , 110 , 120) lagen. Diese Situation erlaubt wiederum eine klare Aussage: bei RMSV-Werten über $2,0 \text{ mV}$ besteht eine Indikation zur Durch-

führung einer Herzkatheteruntersuchung im Hinblick auf die zu erwartende Operation.

2. Anschließend haben wir bei allen 17 Patienten den links-maximalen Raumvektor (LMSV) gemessen und dabei Werte von 1,22 mV bis 2,55 mV gefunden. Der kleinste Wert von 1,22 mV entsprach einem Druckgradienten von 30 mm Hg, der größte Wert von 2,55 mV einem Druckgradienten von 180 mm Hg. Wenn wir uns den Korrelationskoeffizienten von $r = 0,45$ und das Diagramm (vgl. Abb. 9) betrachten, so ergibt sich zwar eine insgesamt aufsteigende Tendenz der Beziehung zwischen dem LMSV und dem gemessenen Druckgradienten, jedoch war es nicht möglich, eine Trennlinie in Bezug auf niedrige und höhere Gradienten zu finden, da im Bereich zwischen 1,22 mV und 1,5 mV bereits Gradienten über 100 mm Hg (110, 110, 120, 150) erschienen. Dadurch ist eine Aussage mit klinischen Konsequenzen unmöglich.
3. Als nächstes untersuchten wir die Abweichung des rechts-maximalen Raumvektors von der x-Achse in Projektion auf die Horizontalebene bei allen 17 Patienten.

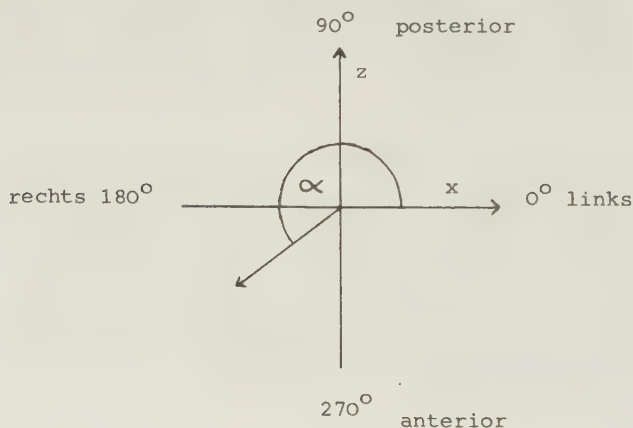


Abb. 10) Schema der Projektion des RMSV auf die Horizontalebene.

Die errechneten Werte in Winkelgraden für den Winkel α (Azimuth) setzten wir in Beziehung zu den jeweiligen Druckgradienten. Dabei fanden wir bei einem kleinsten Winkel von 115° (er entsprach einem Gradienten von 110 mm Hg) und einem größten Winkel von 264° (er entsprach einem Gradienten von 60 mm Hg) einen Durchschnittswert für den Azimuth von 190° (vgl. Abb. 11).

Das Diagramm zeigt, daß bei unseren Patienten keine klare Tendenz in der Beziehung zwischen dem Azimuth und dem Druckgradienten herzustellen ist. Der errechnete Korrelationskoeffizient $r = -0,17$ unterstreicht dies, ebenso die unten angegebenen Durchschnittswerte des Azimuth für die vier Gradientengruppen. Wir können also mit diesem Kriterium keine klinisch verwertbare Aussage treffen.

Gradient (mm Hg)	unter 50	50 - 100	100 - 150	über 150
Azimuth ($^{\circ}$)	135	152	115	147
	156	195	165	192
	210	205	180	
		225	207	
		225	225	
		240		
		264		
Durchschnittswerte	167	215	178	169

Tab. 3) Gemessene Azimuth-Werte in Relation zu den vier Gradientengruppen.

4. Eine weitere Winkelmessung ergab den Wert der Elevation, d.h. der Abweichung des rechtsmaximalen Raumvektors von der z-Achse in Projektion auf die Sagittalebene.

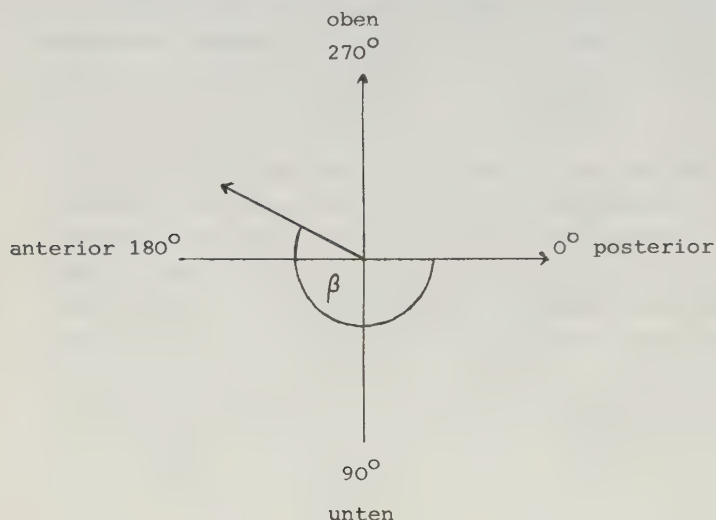


Abb. 12) Schema der Projektion des RMSV auf die Sagittalebene.

Die Ergebnisse der Berechnung des Winkels β (Elevation) in Winkelgraden setzten wir in Beziehung zu den jeweiligen Druckgradienten. Der Durchschnittswert für die Elevation bei 17 Patienten lag bei 190° . Dabei entsprach der kleinste gemessene Winkel von 130° einem Druckgradienten von 60 mm Hg, während der größte gemessene Winkel von 360° einem Druckgradienten von 150 mm Hg entsprach. Der Korrelationskoeffizient betrug $r = 0,19$ (vgl. Abb. 13). Auch hier, wie schon bei der Berechnung

des Azimuth, läßt sich keine Signifikanz in der Beziehung zwischen der Elevation und dem Druckgradienten herstellen. Dies wird durch die errechneten Durchschnittswerte für die Elevation in bestimmten Gradientengruppen nur noch verdeutlicht.

Gradienten (mm Hg)	unter 50	50 - 100	100 - 150	über 150
Elevation (°)	172	135	140	172
	172	138	149	218
	219	147	180	
		198	180	
		201	360	
		216		
		233		
Durchschnittswerte	188	181	201	195

Tab. 4) Durchschnittswerte der Elevation in Beziehung zu den ausgewählten Gradientengruppen.

- Wir untersuchten weiterhin die Dauer des QRS-Kammerkomplexes bei allen 17 Patienten durch direkte Messung an den ausgeschriebenen orthogonalen Elektrokardiogrammen nach Frank. Wir errechneten einen Durchschnittswert von 73,9 msec. Unsere Untersuchung dieses Kriteriums ergab weder eine Tendenz der Durchschnittswerte in

den einzelnen Gradientengruppen, noch einen brauchbaren Korrelationskoeffizienten ($r = - 0,0544$) in der Relation zu den gemessenen Druckgradienten.

Gradient (mm Hg)	unter 50	50 - 100	100 - 150	über 150
QRS-Dauer (msec.)	64	64	64	64
	80	64	70	92
	80	72	76	
		72	76	
		80		
		84		
		84		
Durchschnitts- werte .	74,7	74,3	71,6	78

Tab. 5) Durchschnittswerte der QRS-Dauer in Beziehung zu den ausgewählten Gradientengruppen.

Wir versuchten nun, ein höheres Maß an Korrelation zwischen QRS-Dauer und dem Druckgradienten zu erreichen, indem wir nicht die normalen Werte in msec., sondern die Abweichung der jeweiligen Zeitwerte von einer von Ellison und Restieaux für die jeweiligen Altersstufen aufgestellten Tabelle von Normalwerten(17) in Prozent gegen den Druckgradienten in einem Diagramm auftrugen (vgl. Abb. 14). Dadurch erreichten wir zwar eine Ver-

besserung des Korrelationskoeffizienten auf $r = - 0,1176$, insgesamt bleibt die Signifikanz dieses Kriteriums jedoch so schlecht, daß wir daraus keine relevante Aussage ziehen können.

6. Ähnliche für die Klinik wenig brauchbare Ergebnisse brachten die Messungen der Zeit, die der rechtsventrikuläre Raumvektor benötigt, seine maximale Ausdehnung im Raum zu erreichen. Der Beginn der Messung war mit dem Beginn des QRS-Kammerkomplexes identisch. Die Messung erfolgte anhand der orthogonalen Elektrokardiogramme nach Frank. Wir errechneten einen Durchschnittswert für alle 17 Patienten von 48 msec. bei einem kleinsten Wert von 40 msec. (der entsprechende Gradient war 110 mm Hg) und einem größten Wert von 64 msec. (der entsprechende Gradient war 120 mm Hg).

Die Durchschnittswerte in den einzelnen Gradientengruppen waren wie folgt verteilt:

Gradient (mm Hg)	unter 50	50 - 100	100 - 150	über 150
Durchschnittswerte (msec.)	52	45	47	48

Tab. 6) Durchschnittswerte für die RMSV-Zeit in Bezug zu den vier Gradientengruppen.

Es war selbst unmöglich, eine Tendenz erkennen zu können, was leicht an den Durchschnittswerten für die einzelnen

Gradientengruppen aufzuzeigen ist. Der Korrelationskoeffizient für diese Beziehung betrug $r = - 0,25$.

7. Zum Abschluß unserer vektorkardiographischen Betrachtungen untersuchten wir noch den Drehsinn der Vektorschleifen in der Frontal-, Sagittal- und Horizontalebene.

In der Frontalebene drehten sämtliche Schleifen im Uhrzeigersinn mit zwei Ausnahmen:

ein Patient mit einem Druckgradienten von 55 mm Hg drehte im Gegenuhrzeigersinn, ein Patient mit einem Druckgradienten von 60 mm Hg drehte im Sinne einer  -Schleife.

In der Sagittalebene war die bevorzugte Drehrichtung der Gegenuhrzeigersinn mit fünf Ausnahmen:

bei drei Patienten mit den Druckgradienten 25 mm Hg, 150 mm Hg und 160 mm Hg fand sich eine  -Schleife, zwei Patienten mit dem Druckgradienten 60 mm Hg und 120 mm Hg drehten im Uhrzeigersinn.

Daraus ist zu erkennen, daß vom Drehsinn der Vektorschleifen in der Frontal- und Sagittalebene keine Tendenz in der Beziehung zu den jeweiligen Druckgradienten abzuleiten ist.

Die Betrachtung des horizontalen Drehsinns ergab folgende Ergebnisse:

 -Schleife	Gegenuhrzeigersinn	Uhrzeigersinn
25	12	60
60	30	100
75	55	100
	60	110
	110	110
		120
		150
		160
		180

Tab. 7) Verteilung der Einzelgradienten auf die drei Richtungen des Drehsinns in der horizontalen Ebene.

Daraus ergibt sich deutlich eine Tendenz von der ∞ -Schleife über den Gegenuhrzeigersinn aufsteigend zum Uhrzeigersinn (vgl. Abb. 15). So weisen in der Horizontalebene mit Ausnahme eines Patienten mit einem Gradienten von 60 mm Hg alle Patienten mit Gradienten von 100 mm Hg und mehr eine Drehung der Vektorschleife im Uhrzeigersinn auf, während bei ∞ -Schleife und Gegenuhrzeigersinn nur ein Patient einen Gradienten über 100 mm Hg aufweist. Bezogen auf unsere klinische Betrachtungsweise hieße dies, daß bei Patienten mit einer Drehung der Vektorschleife in der Horizontalebene im Uhrzeigersinn eine Herzkatheteruntersuchung indiziert ist.

II) Elektrokardiographische Kriterien:

1. Wir untersuchten bei den 17 Patienten die Höhe der elektrischen Potentiale von R in V_1 . Wir fanden einen Durchschnittswert für dieses Kriterium von 1,68 mV bei einem kleinsten gemessenen Wert von 0,2 mV (ihm entsprach der Gradient 25 mm Hg) und einem größten Wert von 3,7 mV (ihm entsprach ein Gradient von 150 mm Hg).

Die Betrachtung der Durchschnittswerte in den einzelnen Gradientengruppen ergibt folgende Tendenz:

Gradienten unter 50 (mm Hg)	50 - 100	100 - 150	über 150	
Durchschnitts- werte (mV)	0,35	1,37	2,44	2,5

Tab. 8) Gemessene Durchschnittswerte für R in V_1 in Beziehung zu den ausgewählten Gradientengruppen.

Damit ergibt sich eine dem Druckgradienten entsprechende, klar nach oben gerichtete Tendenz.

Die Werte im einzelnen:

Gradient (mm Hg)	unter 50	50 - 100	100 - 150	über 150
R in V_1 (mV)	0,2	0,7	1,2	2,7
	0,35	1,0	1,9	3,1
	0,5	1,0	2,2	
		1,3	3,2	
		1,4	3,7	
		1,7		
		2,5		

Tab. 9) Gemessene Einzelwerte für R in V_1 in Beziehung zu den ausgewählten Gradientengruppen.

Der errechnete Korrelationskoeffizient von $r = 0,87$ bestätigt die sehr gute Signifikanz der Beziehung zwischen dem Druckgradienten und der Höhe von R in V_1 (vgl. Abb. 16).

Bei dem Versuch, klinisch relevante Trennlinien zu finden, bieten sich zwei sehr gute Möglichkeiten an:

- Unter 0,6 mV für R in V_1 erfassen wir alle Patienten mit einem Druckgradienten unter 50 mm Hg, während über 0,6 mV kein Patient mit einem Gradienten unter 50 mm Hg zu finden ist. Das heißt, bei Werten von unter 0,6 mV für R in V_1 ist kein Gradient über 50 mm Hg zu erwarten.
- Nehmen wir eine zweite Trennlinie bei 1,5 mV für R in V_1 , dann ergibt sich folgende Situation:

Unter 1,5 mV erfassen wir alle Patienten mit einem Druckgradienten unter 100 mm Hg und nur einen Patienten mit einem Gradienten von 110 mm Hg.

Über 1,5 mV liegen alle Patienten mit Gradienten über oder gleich 100 mm Hg mit Ausnahme dieses einen Patienten mit einem Gradienten von 110 mm Hg bei R in V_1 von 1,2 mV.

Das ergibt für zwei bedeutungsvolle Grenzwerte bei 50 und 100 mm Hg klare Trennmöglichkeiten in leichte, mittelschwere und schwere Pulmonalstenosen. Wir versuchten nun, dieses sehr aussagekräftige Kriterium noch zu verfeinern, indem wir die Normtabellen von Ziegler (44) für die Höhe von R in V_1 in Abhängigkeit vom Lebensalter der Patienten zugrunde legten. Wir verglichen nun die Werte unserer Patienten mit den jeweiligen Normalwerten von Ziegler und setzten die Abweichung unserer Werte in Prozent von den Normalwerten (100 %) in Beziehung zu den gemessenen Druckgradienten (vgl. Abb. 17). Dadurch erreichten wir eine Verbesserung der Korrelation auf $r = 0,88$ und ähnlich klare Trennlinien bei 0 % und + 150 % Abweichung von den Normalwerten entsprechend den Trennlinien bei 0,6 mV und 1,5 mV bei absoluter Betrachtungsweise. Unter 0 % Abweichung erfassen wir alle Patienten mit einem Gradienten unter 50 mm Hg, während über 0 % Abweichung kein Patient mit einem Gradienten unter 50 mm Hg zu finden ist. Unter + 150 % Abweichung erfassen wir alle Patienten mit einem Druckgradienten unter 100 mm Hg und nur einen Patienten mit einem Gradienten von 110 mm Hg. Über + 150 % Abweichung liegen alle Patienten mit Gradienten über oder gleich 100 mm Hg mit Ausnahme dieses einen Patienten mit einem Gradienten von 110 mm Hg mit einer Abweichung von + 87 %.

Die Betrachtung der prozentualen Abweichung unserer Werte von den Normalwerten von Ziegler ist ein weiterer Hinweis auf die ungemein hohe Signifikanz dieses Kriteriums im Hinblick auf die Beurteilung des Schweregrades von isolierten valvulären Pulmonalstenosen.

2. Bei allen 17 Kindern wurde zusätzlich in V_1 der Ausschlag der S-Zacke in mV gemessen und dann der Quotient R/S in V_1 bestimmt.

Bei drei Kindern war S gleich null, so daß der Quotient R/S gleich unendlich wurde. Für $R/S = \infty$ haben wir für die Errechnung der Geradengleichung und des Korrelationskoeffizienten einen Wert von 100 angenommen, der in dieser Relation einem annähernd unendlich großen Wert entspricht.

Als kleinsten Wert fanden wir 0,4 (bei einem Gradienten von 25 mm Hg) und als größten Wert ∞ (bei Gradienten von 120, 150 und 160 mm Hg). Die gemessenen Einzelwerte in Beziehung zu den vier Gradientengruppen ergaben eine eindeutig ansteigende Tendenz.

Gradient (mm Hg)	unter 50	50 - 100	100 - 150	über 150
R/S	0,4	0,5	1,5	3,85
	1,0	1,0	2,4	
	1,0	1,75	6,4	
		2,0		
		3,2		
		17		
		25		

Tab. 10) Gemessene Einzelwerte von R/S in V_1 in Beziehung zu den ausgewählten Gradientengruppen.

Auch der Korrelationskoeffizient von $r = 0,60$ bestätigt eine deutliche Tendenz in der Beziehung zwischen R/S in V_1 und dem Druckgradienten (vgl. Abb. 18).

Von verschiedenen Autoren (5,13,33) wird der Wert von $R/S > 1$ als Maß für die Rechtshypertrophie des Herzens angegeben. Wenn wir anhand dieses Kriteriums unsere Ergebnisse betrachten, so können wir feststellen, daß bei $R/S \leq 1$ alle Patienten mit einem Gradienten von 60 mm Hg und weniger erfaßt sind und gleichzeitig kein Patient unter 60 mm Hg bei $R/S > 1$ erfaßt wurde. Damit ist auch die klinische Relevanz dieses Kriteriums bestätigt.

3. Als nächstes untersuchten wir die Differenz aus R und S in V_1 in mV. Bei 17 Patienten ergab sich ein Durchschnittswert von 1,15 mV bei einem kleinsten Wert von - 1 mV (entsprechender Gradient war 55 mm Hg) und einem größten Wert von 3,7 mV (entsprechender Gradient war 150 mm Hg) (vgl. Abb. 19).

Gradient (mm Hg)	unter 50	50 - 100	100 - 150	über 150
R - S in V_1 (mV)	- 0,3	- 1	0,4	3,1
	0	0	1,1	3,7
	0	0,5	2,0	
		0,6	2,2	
		0,9	2,7	
		1,6		
		2,0		
Durchschnittswerte (mV)	- 0,1	0,67	1,7	3,4

Tab. 11) Gemessene Einzelwerte von R - S in V_1 in Beziehung zu den ausgewählten Gradientengruppen.

Die Durchschnittswerte lassen eine eindeutige aufsteigende Tendenz vermuten, was durch den Korrelationskoeffizienten $r = 0,82$ nur noch bestätigt wird. Dieses Kriterium zeigt eine sehr gute Signifikanz zum Druckgradienten. Wenn wir nun unsere klinisch relevante Trennungslinie bei $0,4 \text{ mV}$ annehmen, so können wir aussagen, daß der Bereich (R - S) in V_1 unter $0,4 \text{ mV}$ alle Gradienten von 60 mm Hg und darunter erfaßt, während im Bereich von $0,4 \text{ mV}$ aufwärts kein Patient mit einem Gradienten unter 60 mm Hg erfaßt wird. Somit ist auch die klinische Aussage dieses Kriteriums gut verwertbar.

4. In Anlehnung an den in der Beurteilung von Aortenstenosen so wichtigen "Sokolow-Index" untersuchten wir das folgende, ebenfalls von Sokolow beschriebene Kriterium: R in V_1 + S in $V_{5/6}$.

Es ergab sich bei den 17 Patienten ein Durchschnittswert von $2,42 \text{ mV}$, wobei der kleinste Wert von $0,5 \text{ mV}$ einem Gradienten von 25 mm Hg und der größte Wert von $4,9 \text{ mV}$ einem Gradienten von 180 mm Hg entsprach (vgl. Abb. 20). Hierbei und auch beim Vergleich der Durchschnittswerte in den einzelnen Gradientengruppen läßt sich eine deutlich aufsteigende Tendenz erkennen. Der Korrelationskoeffizient für die Beziehung von R in V_1 + S in $V_{5/6}$ zum jeweiligen Druckgradienten beträgt $r = 0,86$.

Gradient (mm Hg)	unter 50	50 - 100	100 - 150	über 150
Durchschnittswerte				
$Rv_1 + Sv_{5/6} \text{ (mV)}$	0,97	1,74	3,46	4,45

Tab. 12) Errechnete Durchschnittswerte von $Rv_1 + Sv_{5/6}$ in Beziehung zu den ausgewählten Gradientengruppen.

Wenn wir nun den vorgeschlagenen Grenzwert von 1,05 mV für Pulmonalstenosen heranziehen, so ergibt sich folgendes Bild:

Unter 1,05 mV befindet sich kein Patient mit einem Druckgradienten über 60 mm Hg, während über 1,05 mV alle Patienten mit einem Druckgradienten über oder gleich 60 mm Hg erfaßt werden; aber auch drei Patienten mit niedrigen Gradienten (12, 30, 55 mm Hg) werden dadurch zur Gruppe der schweren Pulmonalstenosen gerechnet.

Somit läßt sich bei unseren Patienten keine 100 %ige Trennung in verschiedene Schweregrade von Pulmonalstenosen erreichen, was aber die hohe Signifikanz dieses Kriteriums nicht abwerten kann.

5. Bei isolierter Betrachtung der S-Zacke in V_5 oder V_6 bei allen 17 Patienten ergab sich ein durchschnittlicher Wert von 0,85 mV, wobei durchweg die S-Zacken in V_5 , da höher, herangezogen wurden (vgl. Abb. 21).

Der kleinste gemessene Wert von 0,2 mV entsprach einem Druckgradienten von 60 mm Hg, der größte Wert von 2,2 mV einem Druckgradienten von 180 mm Hg. Der Korrelationskoeffizient, der diesem Kriterium entspricht, beträgt $r = 0,42$.

Gradient (mm Hg)	unter 50	50 - 100	100 - 150	über 150
Durchschnittswerte				
S in $V_{5/6}$ (mV)	0,95	0,56	0,92	1,55

Tab. 13) Errechnete Durchschnittswerte für S $V_{5/6}$ in Beziehung zu den ausgewählten Gradientengruppen.

Schon die Durchschnittswerte lassen keine Tendenz erkennen, was sich auch in einer breiten Streuung der Einzelergebnisse

(Abb. 20) widerspiegelt, so daß der klinische Wert dieses Kriteriums sehr begrenzt ist.

6. Eine von Gamboa und Hugenholtz 1965 aufgestellte Formel (S in $I + R$ in $V_1 + S$ in V_6) wurde von uns ebenfalls untersucht. Dabei fanden wir bei einem Durchschnittswert von 3,18 mV den kleinsten Wert bei 0,85 mV (ihm entsprach ein Druckgradient von 60 mm Hg) und den größten Wert bei 6,2 mV (ihm entsprach ein Druckgradient von 150 mm Hg).

Gradient (mm Hg)	unter 50	50 - 100	100 - 150	über 150
Durchschnittswerte				
$S I + R v_1 + S v_6$				
(mV)	1,25	2,17	4,36	5,7

Tab. 14) Errechnete Durchschnittswerte für $S I + R v_1 + S v_6$ in Beziehung zu den ausgewählten Gradientengruppen.

Sowohl die Betrachtung der Durchschnittswerte als auch der Korrelationskoeffizient von $r = 0,72$ lassen eine gute Signifikanz dieses Kriteriums erwarten (vgl. Abb. 22).

In Bezug auf die klinische Verwertbarkeit dieses Kriteriums ziehen wir die Trennlinie bei 2,0 mV. Bei Werten $\geq 2,0$ mV erfassen wir nun alle Patienten mit einem Gradienten von ≥ 75 mm Hg, allerdings auch einen Patienten mit einem Gradienten von 60 mm Hg.

Bei Werten 2,0 mV werden nur Patienten mit Gradienten unter oder gleich 60 mm Hg erfaßt. Somit erreichen wir auch mit diesem Kriterium eine gute Trennung von leichten und schweren Pülmonalstenosen.

7. Als nächstes untersuchten wir nun die Höhe von R in aVR bei allen 17 Patienten. Es ergab sich ein Durchschnittswert von 0,72 mV bei einem kleinsten Wert von 0,2 mV (ihm entsprach ein Druckgradient von 60 mm Hg) und einem größten Wert von 1,8 mV (ihm entsprach ein Druckgradient von 180 mm Hg) (vgl. Abb. 23).

Druckgradient (mm Hg)	unter 50	50 - 100	100 - 150	über 150
Durchschnittswerte				
R aVR (mV)	0,48	0,56	0,84	1,35

Tab. 15) Errechnete Durchschnittswerte für R aVR in Beziehung zu den ausgewählten Gradientengruppen.

Die aufsteigende Tendenz der Durchschnittswerte sowie der Korrelationskoeffizient für diese Beziehung von $r = 0,65$ ließen eine klinische Bedeutung dieses Kriteriums vermuten, was sich jedoch nicht bestätigte, da die Streuung in den einzelnen Gradientengruppen so breit war, daß keine klinisch relevante Trennlinie gefunden werden konnte.

8. Wir untersuchten nun den Quotienten aus R und S in aVR bei 16 Patienten, da bei einem Patienten die EKG-Aufzeichnung unzureichend war. Wir fanden einen Durchschnittswert von 1,4 mV, wobei der kleinste Wert von 0,45 mV einem Gradienten von 25 mm Hg und der größte Wert von ∞ (keine S-Zacke) einem Gradienten von 120 mm Hg entsprach. Die Durchschnittswerte verhielten sich wie folgt:

Gradienten (mm Hg)	unter 50	50 - 100	100 - 150	über 150
Durchschnitts- werte				
$\frac{R}{S}$ aVR (mV)	1,05	1,22	1,72	2,35

Tab. 16) Errechnete Durchschnittswerte (≈ 23 mV) für

$\frac{R}{S}$ aVR in Beziehung zu den ausgewählten Gradienten-
gruppen.

Der Korrelationskoeffizient beträgt $r = 0,56$.

Es zeigt sich zwar eine aufsteigende Tendenz der Durchschnittswerte, die graphische Darstellung (vgl. Abb. 24) aber macht eine weite Streuung der Einzelergebnisse deutlich, was eine klinische Verwertbarkeit dieses Kriteriums nicht zuläßt.

9. Unsere nächste Messung bei allen 17 Patienten galt R in VR_4 . Wir fanden einen Durchschnittswert von 1,04 mV bei einem kleinsten Wert von 0,1 mV (ihm entsprach ein Druckgradient von 12 mm Hg) und einem größten Wert von 2,2 mV (ihm entsprach ein Druckgradient von 110 mm Hg) (vgl. Abb. 25).

Gradient (mm Hg)	unter 50	50 - 100	100 - 150	über 150
Durchschnitts- werte				
R VR_4 (mV)	0,37	0,77	1,56	1,80

Tab. 17) Errechnete Durchschnittswerte für R VR_4 in Beziehung zu den ausgewählten Druckgradienten.

Die deutlich aufsteigende Tendenz der Durchschnittswerte wird durch den hohen Korrelationskoeffizienten von $r = 0,85$ be-

stätigt. Nehmen wir bei 0,5 mV für R_{VR_4} eine Trennlinie zwischen höheren und niedrigeren Gradienten an, so ergibt sich folgendes Bild:

Unter 0,5 mV finden wir keinen Patienten mit einem höheren Gradienten als 60 mm Hg. Über 0,5 mV finden wir keinen Patienten mit einem Druckgradienten unter 55 mm Hg. Daraus können wir eine hohe Bedeutung für die klinische Einschätzung von Pulmonalstenosen ableiten.

10. Wir nahmen nun als Kriterium für die Hypertrophie des rechten Ventrikels, hervorgerufen durch eine Pulmonalstenose, die aufsteigende Tendenz der R-Zacken in den drei Extremitätenableitungen im Sinne einer Rechtsdrehung der elektrischen Herzachse zu Hilfe. Wir fanden, daß von 17 Patienten 13 dieses Kriterium erfüllten. Die 4 Patienten, bei denen dies nicht der Fall war, hatten folgende Druckgradienten: 12, 55, 60 und 180 mm Hg.

Wenn wir nun die kritische Grenze bei 60 mm Hg annehmen, so erreichen wir unterhalb dieser Trennlinie die leichteren Stenosen, mit Ausnahme des Patienten mit dem Gradienten 180 mm Hg. Oberhalb dieser Trennlinie erreichen wir die schweren Stenosen (vorausgesetzt sie erfüllen das Kriterium), aber auch zwei Patienten mit 25 mm Hg und 30 mm Hg. Damit können wir eine aufsteigende Tendenz der R-Zacken in den Extremitätenableitungen höchstens als unterstützendes Kriterium werten.

11. Bei einem anderen Kriterium für die Hypertrophie des rechten Ventrikels, eine absteigende Tendenz der T-Wellen in den Extremitätenableitungen, verhielt es sich ähnlich. Wir fanden dieses Kriterium nur bei 5 von 17 Patienten bestätigt, allerdings traf es auf keinen Patienten mit einem Druckgradienten niedriger als 75 mm Hg zu.

12. Wir untersuchten weiterhin als Ausdruck für Rechtshypertrophie in Kombination mit einer bereits eingesetzten Minderdurchblutung des rechten Ventrikels das Auftreten von negativen T-Wellen kombiniert mit konvexbogenförmig gesenkten ST-Strecken in den Ableitungen V_1 , V_2 , II, III und aVF.

In Ableitung V_2 , II und aVF fanden wir dieses Kriterium bei keinem Patienten bestätigt. In Ableitung III fand sich eine negative T-Welle mit konvexbogig gesenkter ST-Strecke bei einem Gradienten von 110 mm Hg. In Ableitung V_1 fanden sich 5 negative T-Wellen mit konvexbogenförmig gesenkter ST-Strecke bei den Gradienten 60, 120, 150, 160 und 180 mm Hg. Wir können sagen, daß dieses Kriterium für 57 % der Patienten mit einem Druckgradienten über 100 mm Hg zutrifft, allerdings auch einen Patienten mit einem Gradienten von 60 mm Hg erfaßt. Insofern erlaubt uns dieses Kriterium eine Aussage über schwere Pulmonalstenosen mit bereits bestehender koronarer Minderdurchblutung, ohne aber eine Abgrenzung zu leichteren Stenosen zu liefern.

13. Eine positive T-Welle in V_1 gilt nach Celermaier und Varghese (12) als Ausdruck einer leichten Pulmonalstenose bei Kindern im Alter von 5 bis 10 Jahren.

Wir hatten 6 Patienten in diesem Alter, 4 von ihnen hatten eine leichte Pulmonalstenose, jedoch nur 2 wiesen eine positive T-Welle auf. Weitere 4 Patienten mit positiven T-Wellen (3, 4, 4, 9 Jahre) wiesen Druckgradienten von 75, 100, 110 und 110 mm Hg auf. Somit konnten wir eine positive T-Welle in V_1 in keine direkte Verbindung zu leichten Pulmonalstenosen bringen.

14. Als nächstes untersuchten wir ein p-pulmonale in den Ableitungen V_1 , V_2 , II oder III ($p > 0,3$ mV). Wir fanden die Häufigkeit eines p-pulmonale bei unseren 17 Patienten wie folgt verteilt: bei den Gradienten unter 100 mm Hg fand

sich ein p-pulmonale bei 30 % der Patienten, bei den Gradienten über oder gleich 100 mm Hg fand sich ein p-pulmonale bei 42 % der Patienten. Wir erreichen also keine signifikante Trennung in leichte und schwere Pulmonalstenosen durch dieses Kriterium.

15. Wir untersuchten nun die These von Scherlis (37), nach der die Dauer des QRS-Kammerkomplexes in V_1 bei Pulmonalstenosen unter 0,1 sec. liegt.

Wir fanden folgende Ergebnisse:

QRS-Dauer über 0,1 sec. bei 2 Patienten	(12 %)
QRS-Dauer gleich 0,1 sec. bei 4 Patienten	(24 %)
QRS-Dauer unter 0,1 sec. bei 11 Patienten	(64 %)

Dies zeigt, daß die Tendenz zu kürzeren QRS-Kammerkomplexzeiten bei Pulmonalstenosen gegeben ist, jedoch läßt sich dadurch kein Rückschluß auf die Schwere der Stenose ziehen, was der Korrelationskoeffizient von $r = - 0,0494$ für diese Beziehung nur unterstreicht.

III) Phonokardiographische Kriterien

1. Im Phonokardiogramm wurde der Abstand zwischen dem Beginn des Kammerkomplexes Q (im simultan geschriebenen EKG) und dem sog. Ejektion-Click, der bei der Austreibung des Blutes aus dem linken Ventrikel durch die plötzliche Anspannung der adhärennten Klappensegel bei maximaler Öffnung entsteht, gemessen. Wir untersuchten diesen Abstand bei allen 17 Patienten.

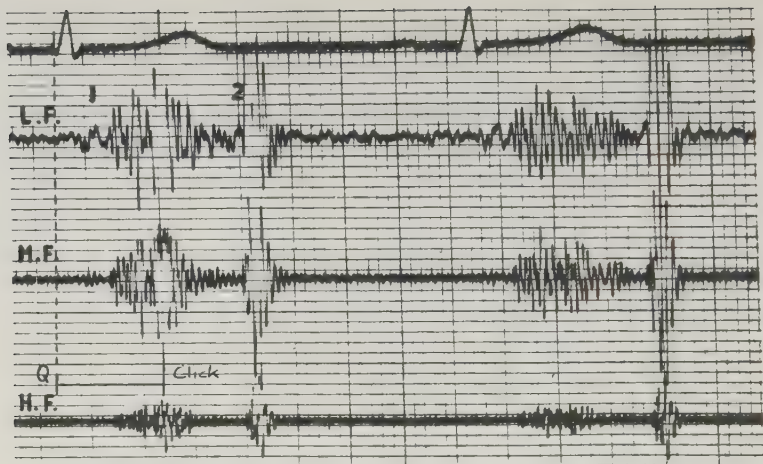


Abb. 26) Der Ejektions-Click im Phonokardiogramm. (35 a)

Wenn wir uns nun die Abb. 27 betrachten, so sehen wir, daß bei 6 Patienten kein Klick im Phonokardiogramm nachzuweisen war. Die Gradienten dieser Patienten betrugen 100, 110, 120, 150, 160 und 180 mm Hg. Der Durchschnittswert der übrigen gemessenen Q-Click-Abstände bei 11 Patienten lag bei 0,086 sec., der niedrigste Wert bei 0,085 sec. und der höchste Wert bei 0,115 sec.

Wir können somit sagen, daß bei 100 % der Patienten mit einem Gradienten über 110 mm Hg kein Ejektions-Click mehr zu hören war. Wenn wir die Grenze bei 100 mm Hg ansetzen, so sind es immer noch 67 %. Es besteht eine eindeutige Tendenz zum Fehlen des Klicks bei schweren Pulmonalstenosen.

2. Bei 15 Patienten konnten wir die Länge der Spaltung des zweiten Herztones messen (bei 2 Patienten war eine Spaltung des zweiten Herztones nicht nachweisbar), was der zeitlichen Differenz des Klappenschlusses zwischen Aorten- und Pulmonal-klappe entspricht. Wir fanden einen Durchschnittswert von 0,061 sec. bei einem kleinsten Wert von 0,03 sec. und einem größten Wert von 0,11 sec.

Die Graphik (siehe Abb. 28) zeigt ein mäßig signifikantes Ansteigen der errechneten Geraden.

Wenn wir eine klinisch relevante Trennlinie bei 0,06 sec. ziehen, so erfassen wir über dieser Marke nur Patienten mit Gradienten über 100 mm Hg, unter oder gleich 0,06 sec. finden wir neben den Patienten mit Gradienten niedriger als 100 mm Hg auch drei Patienten mit Druckgradienten von 100, 120 und 160 mm Hg. Somit können wir dieses Kriterium zur genauen Trennung in leichte und schwere Pulmonalstenosen nicht heranziehen.

3. Als letztes phonokardiographisches Kriterium untersuchten wir die Lage des Geräuschmaximums in Relation zur Länge des spindelförmigen Systolikums bei allen 17 Patienten. Wir fanden Werte von 50 bis 100 %, was auf die einzelnen Gradientengruppen verteilt wie folgt aussieht:

Gradient (mm Hg)	unter 50	50 - 100	100 - 150	über 150
Geräuschmaximum bei	53 %	61 %	71 %	62 %

Tab. 18) Errechnete Durchschnittswerte für das Geräuschmaximum in Prozent in Beziehung zu den ausgewählten Gradientengruppen.

Wir erkennen zwar eine leicht aufsteigende Tendenz in den Durchschnittswerten, können jedoch keine Korrelation für dieses Kriterium ableiten, was der Korrelationskoeffizient von $r = 0,2685$ nur noch bestätigt.

IV) Klinische Kriterien

Bei unseren 17 Patienten wurden auch die klinischen Befunde zur Beurteilung des Schweregrades ihrer Pulmonalstenosen hinzugezogen. Wir untersuchten die Lautstärke des systolischen Geräusches, die ansteigend durch eine Skala von I - VI ausgedrückt wird. Weiterhin untersuchten wir ein tastbares Schwirren, das bei unseren Patienten vornehmlich im 2. - 4. ICR links zu fühlen war.

Die Lautstärke des systolischen Geräusches, die durch Auskultation über dem Herzen bestimmt wurde, ergab folgende Zuteilung:

Geräuschgrad	Druckgradient
II - III	12, 25 mm Hg
III	60, 60, 100, 100 mm Hg
III - IV	30, 55, 160 mm Hg
IV	50, 75, 110, 110, 120, 150 mm Hg
IV - V	180 mm Hg
VI	100 mm Hg

Tab. 19) Relation des systolischen Geräuschgrades zu den gemessenen Druckgradienten.

Dabei ist es uns nicht möglich, eine bestimmte Tendenz in Bezug auf die Druckgradienten zu erkennen.

Das Schwirren, das bei unseren Patienten vornehmlich im Bereich des 2. - 4. ICR links zu tasten war, wurde ohne Ausnahme bei allen 17 Patienten ohne deutlich faßbare Intensitätsunterschiede gefühlt.

Für diese beiden von uns untersuchten Kriterien gilt nun, wie zu erwarten, daß sie für die Einschätzung des Schweregrades von Pulmonalstenosen nicht sonderlich geeignet sind, daß aber allein die Existenz eines dieser Zeichen auf das Vorliegen einer Pulmonalstenose hinzudeuten vermag.

Kriterium	r
1) $R V_1$	0,87
2) $R V_1 + S V_{5/6}$	0,86
3) $R VR_4$	0,85
4) $R - S V_1$	0,82
5) $S I + R V_1 + S V_6$	0,72
6) RMSV	0,71
7) $R aVR$	0,65
8) $R/S V_1$	0,60
9) $R/S aVR$	0,56
10) LMSV	0,45
11) $S V_{5/6}$	0,42
12) RMSV-Zeit	0,25
13) Elevation	0,19
14) Azimuth	- 0,17
15) QRS-Dauer	- 0,05

Tab. 20) Einzelne Kriterien in der Reihenfolge ihrer Aussagekraft, sofern sie sich mathematisch durch einen Korrelationskoeffizienten ausdrücken lassen.

DISKUSSION:

I) Vektorkardiographische Kriterien:

Die Untersuchung der Beziehung des rechtsmaximalen Raumvektors (RMSV) zum durch Herzkatheteruntersuchung gemessenen systolischen Druckgradienten zwischen rechtem Ventrikel und Arteria Pulmonalis ergab bei uns einen Korrelationswert von $r = 0,71$. Herzkatheteruntersuchung und vektorkardiographische Untersuchung wurden bei den einzelnen Patienten in einem Zeitraum von zwei Jahren durchgeführt.

Hugenholtz und Gamboa führten 1964 (23) eine Studie über 40 Patienten mit isolierten valvulären Pulmonalstenosen in einem Alter von 6 Monaten bis zu 27 Jahren durch und erreichten unter Verwendung eines ähnlichen Kriteriums (Relation zwischen dem systolischen Druck im rechten Ventrikel und dem rechtsmaximalen Raumvektor) eine Korrelation von $r = 0,87$, wobei als Normalwert für den RMSV 0,40 mV angenommen wurde. Obere Normalwerte sowie signifikante Trennungslinien zwischen einzelnen Gradientengruppen wurden nicht angegeben. Rasmussen und Sörland fanden 1973 (35) bei 38 Patienten mit nicht operierten Pulmonalstenosen für obengenanntes Kriterium (rechtsventrikulärer systolischer Druck gegen RMSV) einen Korrelationskoeffizienten von $r = 0,73$. Angaben über Grenzwerte oder klinisch relevante Aussagen wurden nicht durchgeführt.

Ellison und Restieaux setzten 1972 (17) bei 100 Kindern mit isolierten valvulären Pulmonalstenosen den RMSV in Beziehung zum maximalen systolischen rechtsventrikulären Druck und fanden dafür eine Korrelation von sogar $r = 0,73$.

Die Beziehung zwischen dem Druckgradienten und dem linksmaximalen Raumvektor (LMSV) erbrachte in unserer Untersuchung einen Korrelationskoeffizienten von $r = 0,45$, ohne jedoch

eine verwertbare Aussage bzw. eine davon abzuleitende Konsequenz zu ermöglichen.

Die Untersuchung der Abweichung des RMSV von der x-Achse in Projektion auf die Horizontalebene (Azimuth) in Beziehung zum Druckgradienten erbrachte keine verwertbare Tendenz ($r = -0,17$).

Als Zeichen für Rechtshypertrophie gilt die Vektorrichtung nach vorne rechts (27°) und entspricht einem Azimuth von $90^\circ - 180^\circ$. Ellison fand 1972 (17) bei 100 untersuchten Kindern mit Pulmonalstenosen eine Hauptvektorrichtung nach rechts unten hinten (Durchschnitt 211°), die allerdings bei zunehmender Stenose nach vorne drehte. Wir fanden bei unseren Messungen einen Durchschnittswert von 190° .

Die Untersuchung der Abweichung des RMSV von der z-Achse (Elevation) in Projektion auf die Sagittalebene ergab ebenso wie die Berechnung des Azimuth keine brauchbaren Ergebnisse, wie auch Rasmussen und Sørland 1973 (35) beschrieben. Unser Durchschnittswert für die Elevation lag bei 190° , Ellison kam 1972 (17) bei seiner Untersuchung auf einen Durchschnittswert von 165° , ohne eine signifikante Tendenz aufweisen zu können.

Bei der Errechnung der Dauer des QRS-Kammerkomplexes ergab sich bei uns ein Durchschnittswert von 71,47 msec., allerdings ohne erkennbare Tendenz in Relation zu den gemessenen Druckgradienten ($r = -0,0544$).

Eine Verfeinerung der Methode durch Hinzunahme der Normalwerttabelle von Ellison (17) erbrachte keine nennenswerte Verbesserung dieses Ergebnisses ($r = -0,1176$).

Ellison und Restieaux (17) sowie Fowler 1968 (20) beschrieben eine Abnahme der QRS-Dauer bei Zunahme der Stenose, allerdings ohne genaue Korrelationsangaben, was unserem negativen Korrelationskoeffizienten (im Sinne einer reziprok proportionalen Relation) entsprechen würde.

Die Zeit, die der rechtsventrikuläre Raumvektor benötigt, seine maximale Ausdehnung im Raum zu erreichen, betrug bei unseren Messungen im Durchschnitt 48 msec. mit einer rechnerischen Tendenz zur umgekehrt proportionalen Relation ($r = -0,25$), allerdings ohne eine signifikante klinische Verwertbarkeit.

Auch Ellison und Restieaux (17) fanden einen Rückgang der RMSV-Zeit bei zunehmendem Schweregrad der Pulmonalstenosen, ohne jedoch eine zwingende Signifikanz nachweisen zu können.

Die Untersuchung der Rotationsrichtungen der QRS-Schleifen im Vektorkardiogramm ergab für die Frontal- und Sagittalebene keine verwertbaren Ergebnisse, wogegen der Drehsinn in der Horizontalebene uns signifikant gute Ergebnisse brachte. Mit dem Schweregrad der Stenose ändert sich der Drehsinn der Vektorschleife des QRS-Kammerkomplexes entsprechend  -Schleife  Gegenuhrzeigersinn  Uhrzeigersinn. Sowohl Gamboa, Hugenholtz und Nadas 1965 (21) als auch Rasmussen und Sørland (35) bestätigen dieses Ergebnis in vollem Umfang. Ellison und Restieaux (17) finden keine derart klare Trennung von höheren und niedrigeren Druckgradienten bei ihrer Studie von 1972.

II) Elektrokardiographische Kriterien:

Wir untersuchten die Höhe der elektrischen Potentiale der R-Zacke in V_1 und fanden einen Durchschnittswert von 1,68 mV. Die errechnete Korrelation für die Beziehung zwischen den Druckgradienten und R in V_1 ergab eine klar nach oben gerichtete Tendenz, ausgedrückt durch den Korrelationskoeffizienten $r = 0,87$. Mit unseren klinisch orientierten Trennlinien bei 0,6 mV und 1,5 mV erreichten wir eine sehr gute Abgrenzung der Gradientengruppen unter 50 mm Hg und über 100 mm Hg, was für die diagnostischen und therapeutischen Konsequenzen von großer Bedeutung erscheint.

Bornu und Sapin (5) führten 1971 bei 90 Patienten VKG- und EKG-Untersuchungen durch und fanden als bestes Kriterium die Höhe von R in V_1 mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = 0,79$. Rasmussen und Sørland fanden 1973 (35) bei 32 Patienten (Durchschnittsalter 16 Jahre) für das selbe Kriterium eine Korrelation von $r = 0,72$. Beide Untersuchungen verglichen das Potential von R in V_1 mit dem absoluten systolischen Druck im rechten Ventrikel. Auch Gamboa, Hugenholtz und Nadas benutzten 1965 diese Beziehung (21) und fanden bei 50 Patienten einen Korrelationskoeffizienten von $r = 0,57$.

Leonhard Scherlis kommt 1963 (37) zu dem Ergebnis, daß (er behandelte 45 Kinder und Erwachsene) eine Korrelation besteht zwischen hohen R-Zacken in V_1 und schweren isolierten valvulären Pulmonalstenosen, ohne jedoch diesen Zusammenhang rechnerisch dokumentiert zu haben.

Silvermann und Nadas zeigten 1956 (38) in ihrer Studie über 45 Patienten mit isolierten Pulmonalstenosen eine Trennungslinie bei $R = 2,0$ mV auf, die eine Abgrenzung von Patienten mit rechtsventrikulärem Druck unter oder über 100 mm Hg erlaubt. In unserer Arbeit entspricht dies einer Trennungslinie bei $R = 1,5$ mV.

Cook-Sup-So gab 1974 (13) als Grenzwert zur Rechtshypertrophie z.B. bei Pulmonalstenosen $Rv_1 = 0,7$ mV an, was in etwa unserer Grenzlinie für Gradienten über 50 mm Hg bei 0,6 mV entspricht.

Die Untersuchung des Quotienten R/S in V_1 erbrachte in unserer Arbeit eine klare Unterscheidung von Patienten mit Druckgradienten über bzw. unter 60 mm Hg, wenn wir als Trennlinie $R/S = 1$ annahmen.

Auch Scherlis (37) und Cook-Sup-So (13) verwendeten dieses Kriterium für Rechtshypertrophie und bestätigten dessen Signifikanz, ohne jedoch genaue Zahlen darüber anzugeben.

Peñaloza findet 1954 (33) in seiner Studie über Pulmonalstenosen bei Patienten mit einem rechtsventrikulärem Druck von 90 mm Hg und mehr einen Quotienten $R/S > 1$, was unseren Ausführungen bei einem Druckgradienten von 60 mm Hg entspricht.

Ziegler nennt 1951 (44) in seiner Studie über normale Kinder als einen Parameter für Rechtshypertrophie bei Pulmonalstenosen die Differenz aus R und S in V_1 . Wir untersuchten dieses Kriterium, fanden einen Durchschnittswert für unsere Patienten von 1,15 mV und eine sehr gute Korrelation zum jeweiligen Druckgradienten ($r = 0,82$). Ziegler gibt als Grenzwert 1,5 mV an, was für unsere Studie bedeuten würde, daß Druckgradienten bis 110 mm Hg nicht als pathologisch gewertet würden. Unsere Trennlinie bei 0,4 mV erlaubt jedoch eine sehr gute Abgrenzung von Patienten mit Gradienten über bzw. unter 60 mm Hg, was klinisch von hoher Bedeutung erscheint.

In Anlehnung an den so wichtigen "Sokolow-Index" bei Aortenstenosen untersuchten wir das für Pulmonalstenosen abgeänderte, von Sokolow und Lyon beschriebene Kriterium (39) R in V_1 + S in $V_{5/6}$, was uns außerordentlich signifikante Ergebnisse brachte. Der Korrelationskoeffizient zum jeweiligen Druckgradienten betrug $r = 0,86$.

Bei dem empfohlenen Grenzwert von 1,05 mV für dieses Kriterium läßt sich zwar keine vollständige Trennung in verschiedene Schweregrade von Pulmonalstenosen erreichen, jedoch kann eine Berechtigung als Zusatzkriterium nicht abgesprochen werden.

Wir untersuchten weiterhin die Kombination aus drei Parametern $S I + Rv_1 + Sv_6$. Wir erhielten für dieses Kriterium

einen Korrelationskoeffizienten von $r = 0,72$, was auf eine gute Signifikanz dieser Beziehung hindeutet. In der Tat konnten wir bei einem Grenzwert von $2,0 \text{ mV}$ eine gute Trennung von Patientengruppen über, bzw. unter 60 mm Hg Druckgradient erreichen. Gamboa, Hugenholtz und Nadas fanden 1965 (21) für diese von ihnen aufgestellte Formel, welche sie als bestes EKG-Kriterium bezeichneten, bei 30 Patienten einen Korrelationskoeffizienten von $r = 0,60$.

Die Untersuchung von R in aVR, bzw. dessen Korrelation zum jeweiligen Druckgradienten erbrachte zwar einen Koeffizienten von $r = 0,65$, allerdings wegen der breiten Streuung der Einzelwerte keine Verwertbarkeit für die Klinik. Empfohlene Grenzwerte von Cook-Sup-So (13) und Ziegler (44) von $0,5 \text{ mV}$ und $0,8 \text{ mV}$ konnten wir in ihrer Signifikanz nicht bestätigen.

Ebenso konnten wir die Behauptung Cook-Sup-Sos (13), der Quotient aus R/S in aVR 1 wäre für eine Rechtshypertrophie von Pulmonalstenosen richtungsweisend, nicht bestätigen. Mäßige Korrelation ($r = 0,56$) und breite Streuung der Einzelwerte lassen dieses Kriterium als nicht sehr geeignet erscheinen, gültige Aussagen über den Schweregrad von Pulmonalstenosen zu treffen.

Wir untersuchten noch die Höhe von R in VR_4 , um mehr rechtspräkordial ableitungsfähige Potentiale zu erfassen und bekamen dadurch eine sehr gute Korrelation zu den einzelnen Druckgradienten ($r = 0,84$). Auch der von Ziegler (44) und Cook-Sup-So (13) postulierte Grenzwert von $0,5 \text{ mV}$ ließ sich durch unsere Arbeit bestätigen. Wir konnten damit eine Trennung von Gradientengruppen in hohe und niedere Druckgradienten erreichen. Auch Cayler in Boston 1958 nennt dieses Kriterium (11) zusammen mit der Höhe von R in V_1 als sehr aus-

sagekräftig. Er findet für schwere Pulmonalstenosen einen Wert von R in aVR über 2,0 mV, was uns allerdings etwas hoch erscheint.

Kriterien für Rechtshypertrophie bei Pulmonalstenosen (13), die sich am Lagetyp der elektrischen Herzachse orientieren, wie eine aufsteigende Tendenz der R-Zacken oder eine absteigende Tendenz der T-Wellen in den Extremitätenableitungen I, II und III wurden von uns untersucht und auf ihre Aussagekraft hin geprüft.

Eine aufsteigende Tendenz der R-Zacken war in 13 von 17 Fällen, eine absteigende Tendenz der T-Wellen in 5 von 17 Fällen zu sehen. Da es sich bei den Patienten, die diese Kriterien erfüllten, überwiegend um solche mit hohen Druckgradienten handelte, muß dem Lagetyp der elektrischen Herzachse bei der Beurteilung des Schweregrades von Pulmonalstenosen zumindest eine assistierende Bedeutung zuerkannt werden.

Negative T-Zacken mit konvexbogig gesenkter ST-Strecke als Ausdruck einer bereits bestehenden koronaren Minderdurchblutung bei schweren Pulmonalstenosen in den Ableitungen V_1 , V_2 , II, III und aVF konnten wir nur in V_1 und III nachweisen, und zwar bei Patienten mit folgenden Druckgradienten: 60, 110, 120, 150, 160 und 180 mm Hg. Somit können wir sagen, daß die Erfüllung dieses Kriteriums auf das Vorliegen einer schweren Pulmonalstenose hindeutet. Auch Penalosa (33) und Cayler (11) finden diese Veränderungen überwiegend bei schweren Pulmonalstenosen.

Celmermaier und Varghese stellten 1969 (12) in Baltimore die These auf, daß bei Kleinkindern im Alter zwischen 5 und 10 Jahren eine positive T-Welle in V_1 auf eine leichte Pulmonalstenose hindeutet. Wir konnten dieses Kriterium nicht nachvollziehen, denn unsere Patienten im Alter unter 10 Jahren mit positiven T-Wellen hatten alle Druckgradienten von

75 mm Hg und darüber, somit handelte es sich um schwere Pulmonalstenosen.

Als nächstes untersuchten wir ein p-pulmonale in den Ableitungen V_1 , V_2 , II und III ($p > 0,3$ mV). Wir fanden ein p-pulmonale in allen Gradientengruppen bei leichter Tendenz zu schweren Stenosen, das stimmt mit Untersuchungen von Scherlis 1963 (37), Cayler 1958 (11) überein, die bei schweren Pulmonalstenosen ein p-pulmonale fanden.

Eine Verkürzung der QRS-Dauer in V_1 bei zunehmender Schwere von Pulmonalstenosen wurde von Scherlis 1963 (37) postuliert, der bei 45 Patienten mit Pulmonalstenosen in 93 % der Fälle QRS-Zeiten unter 0,1 sec. gemessen hatte. In unserer Untersuchung fanden wir bei 64 % unserer Patienten eine QRS-Dauer unter 0,1 sec., was zwar auf einen Zusammenhang zwischen Pulmonalstenosen und kurzer QRS-Dauer hindeutet, jedoch ohne Aussage im Hinblick auf den Schweregrad der Stenose bleibt, was der Korrelationskoeffizient von $r = -0,0496$ beweist.

III) Phonokardiographische Kriterien:

Im Phonokardiogramm untersuchten wir den Abstand zwischen dem Beginn des Kammerkomplexes (Q) und dem sog. Ejektions-Click, der durch die plötzliche Anspannung der adhärennten Klappensegel bei maximaler Öffnung in Verbindung mit der plötzlichen Beschleunigung der Blutsäule in der Arteria pulmonalis und den dadurch induzierten Vibrationen entsteht (43,40).

Wir konnten bei 11 von 17 Patienten diesen Abstand messen und fanden einen Durchschnittswert von 0,086 sec., bei den übrigen 6 Patienten konnte kein Click nachgewiesen werden. Die Druckgradienten dieser 6 Patienten lagen alle

über 110 mm Hg. Dies stimmt mit Ergebnissen von E.W. Hancock überein (22), der einen Ejektions-Click bei bereits kalzifizierten Klappen (möglich bei schweren Stenosen) nicht mehr nachweisen konnte.

Farru und Duftan (19) gaben 1972 bei einer Studie über Pulmonalstenosen einen Mittelwert für den Q-Klickabstand von 0,114 sec. an.

Für die klinische Beurteilung erscheint uns die Tatsache des Fehlens eines Clicks bei schweren Pulmonalstenosen sehr wichtig.

Wir untersuchten weiterhin des zeitlichen Abstand zwischen der Aorten- und Pulmonalkomponente des II. Herztons. Die Ursache für die Entstehung der Pulmonalkomponente des II. Herztons wird als Ausdruck der Spannung an den schon geschlossenen Pulmonalklappen und dem plötzlichen Stopp der Blutsäule gesehen. Dies stimmt überein mit Untersuchungen von Okino und Spencer 1967 (32) und Luisada und Mac Cannon 1972 (28), die den Mechanismus der Spaltung des II. Herztones erklärten. Wir fanden als Durchschnittswert für die Spaltung des II. Herztones 61 msec., außerdem eine mäßig aufsteigende Tendenz in Beziehung zu den gemessenen Druckgradienten. Der Korrelationskoeffizient betrug $r = 0,52$. Eine Aussage im Sinne einer Beurteilung des Schweregrades von Pulmonalstenosen war mit diesem Kriterium nicht möglich.

Dagegen geben Joan und Kallfelz 1971 (24) in ihrer Studie an 35 Patienten im Alter von 1 Monat bis zu 18 Jahren mit isolierten Pulmonalstenosen für die Beziehung des Druckes im rechten Ventrikel zur zunehmenden Spaltung des II. Herztons eine Korrelation von $r = 0,81$ an. Eine Aussage in Bezug auf die Verwertbarkeit zur Trennung hoher und niedriger Gradienten wurde nicht gemacht.

IV) Klinische Kriterien:

Die Beurteilung des Schweregrades von Pulmonalstenosen hängt in einem bedeutenden Maß auch von der Beurteilung der klinischen Situation des Patienten ab. Müdigkeit, Dyspnoe, Schmerzen in der Brust, Synkopen, Cyanose und systolische Herzgeräusche sind dabei wichtige Parameter (16). Wir haben als ein leicht in Stadien einteilbares Kriterium die Lautstärke des systolischen Herzgeräusches bei Pulmonalstenosen herausgegriffen. Dabei ergab sich zwar keine klare Tendenz in Bezug auf die gemessenen Druckgradienten, jedoch zeigten Patienten mit Gradienten über 100 mm Hg allesamt Herzgeräusche des Stadiums III - IV und darüber, was mit anderen Studien übereinstimmt (16). Insgesamt aber muß man wohl sagen, daß die Beurteilung des Schweregrades einer Pulmonalstenose aufgrund klinischer Kriterien - abgesehen von der Erfahrung des Untersuchers - nur im Zusammenhang mit anderen nicht invasiven Methoden sinnvoll ist.

ZUSAMMENFASSUNG:

Ziel unserer Arbeit war es, die verschiedenartigsten Kriterien nicht invasiver Untersuchungsmethoden auf ihre Verwertbarkeit in der Klinik zu untersuchen und dadurch die Möglichkeit zu erhalten, den Schweregrad von Pulmonalstenosen möglichst genau einzuschätzen.

Die Kriterien dazu haben wir aus folgenden Bereichen gewählt:

- a) aus der Vektorkardiographie,
- b) aus der Elektrokardiographie,
- c) aus der Phonokardiographie,
- d) aus der klinischen Untersuchungstechnik.

Wir wollten durch vergleichende Untersuchungen zwischen den Kriterien aus den oben angeführten Bereichen, wovon uns die Vektorkardiographie am genauesten erschien, jene herausfinden, die einzeln oder in Verbindung mit anderen die Beurteilung des Schweregrades von isolierten congenitalen valvulären Pulmonalstenosen am genauesten ermöglichen.

Als objektiven Maßstab dieser Untersuchung wählten wir den Druckgradienten zwischen rechtem Ventrikel und Arteria pulmonalis in mm Hg, der jeweils durch eine Herzkatheteruntersuchung ermittelt wurde, und somit den tatsächlichen Schweregrad der Pulmonalstenosen widerspiegelte. Dabei haben wir vier Patienten- bzw. Gradientengruppen mit zunehmenden Stenosegraden aufgestellt:

0-50, 50-100, 100-150 und über 150 mm Hg.

Bei der Auswertung der Untersuchungsergebnisse lag uns eines besonders am Herzen: Kindern mit leichten Pulmonalstenosen aufgrund genauer, nicht invasiver Untersuchungsmethoden eine Herzkatheteruntersuchung zu ersparen bzw. die Indikation zu einer derartigen Untersuchung genauer zu stellen. Daher

haben wir versucht, alle Kriterien besonders auf die klinische Grenze zwischen leichten und mittleren Stenosen hin zu prüfen. Diese kritische Grenze haben wir bei einem Druckgradienten von 50 mm Hg angesetzt.

Als aussagekräftigste Kriterien für die Fragestellung, ob eine vorliegende Pulmonalstenose so schwer ist, daß eine Herzkatheteruntersuchung notwendig ist, haben sich erwiesen:

a) Aus dem vektorkardiographischen Bereich:

1. der rechtsmaximale Raumvektor mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = 0,71$,
2. der Rotationssinn der Vektorschleife in der Horizontalebene.

b) Aus dem elektrokardiographischen Bereich:

1. die Höhe von R in V_1 ($r = 0,88$)
2. die Differenz (R-S) in V_1 ($r = 0,82$)
3. der Quotient R/S in V_1 ($r = 0,60$)
4. eine aufsteigende Tendenz der R-Zacken in den Extremitätenableitungen ($R I > R II > R III$).

c) Aus dem phonokardiographischen Bereich:

der Q-Klick-Abstand bzw. das Fehlen eines Ejektions-Click.

Die Entscheidung zur Herzkatheteruntersuchung sollte jedoch keinesfalls vom Vorliegen eines Kriteriums allein abhängig gemacht werden, man sollte sich vielmehr zu dieser invasiven Untersuchungsmethode nur beim Zusammentreffen mehrerer Kriterien entschließen (siehe Tab. 20, Seite 41 und Abb. 29).

Die oben genannten Kriterien haben sich als sehr aussagekräftig erwiesen, vor allem leichte Pulmonalstenosen von schwe-

reren abzugrenzen. Jedoch ist keines dieser Kriterien in der Lage, allein oder in Kombination, eine ganz exakte Einstufung des Schweregrades zu gewährleisten. Man wird noch genauere, nicht invasive Untersuchungsmethoden anwenden müssen, um ein gewisses Maß an Fehleinschätzungen noch zu reduzieren. Allem Anschein nach wird die Echokardiographie - als neue nicht invasive Untersuchungsmethode - in der Lage sein, das Problem der möglichst genauen Einschätzung des Schweregrades von Pulmonalstenosen weitgehend lösen zu helfen.

ANHANG:

Es folgen nun in Reihe die Abbildungen 8, 9, 11, 13 - 25, 27, 28, 29.

Die Abbildungen sind in englischer Sprache beschriftet, da sie für einen Vortrag beim 16. Internationalen Symposium für Vektorkardiographie in Varna / Bulgarien angefertigt wurden.

LITERATUR:

Müller K.D., Krayl R., Oberprieler G., Bühlmeier K.:

Pre- and postoperative vectorcardiographic assessment of gradients in congenital aortic and pulmonary stenosis.

2. International Congress on Electrocardiology.

16. International Symposium on Vectorcardiography.

Varna, Bulgarien: 10. - 13. Oktober 1975.

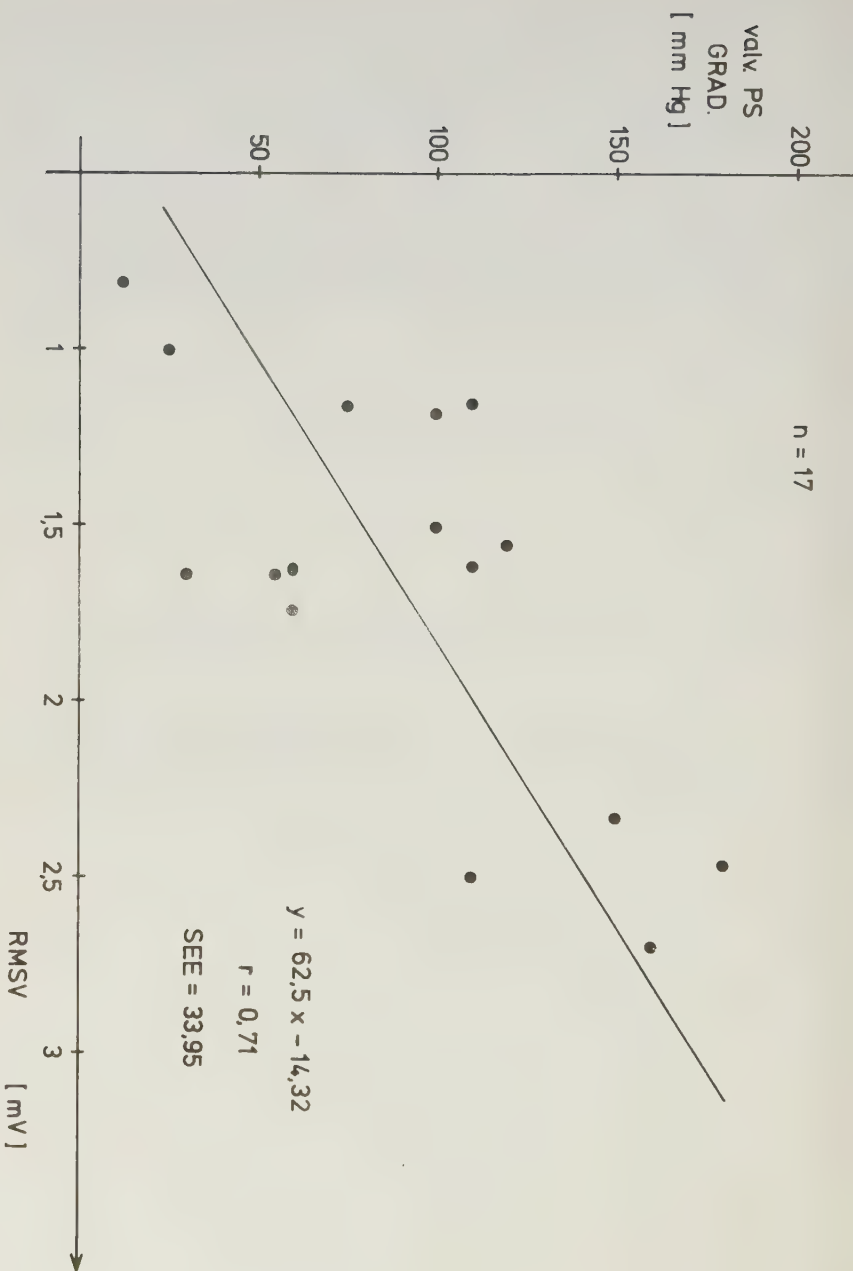


Abb. 8) Korrelation zwischen Druckgradient und rechtsmaximalem Raumvektor.

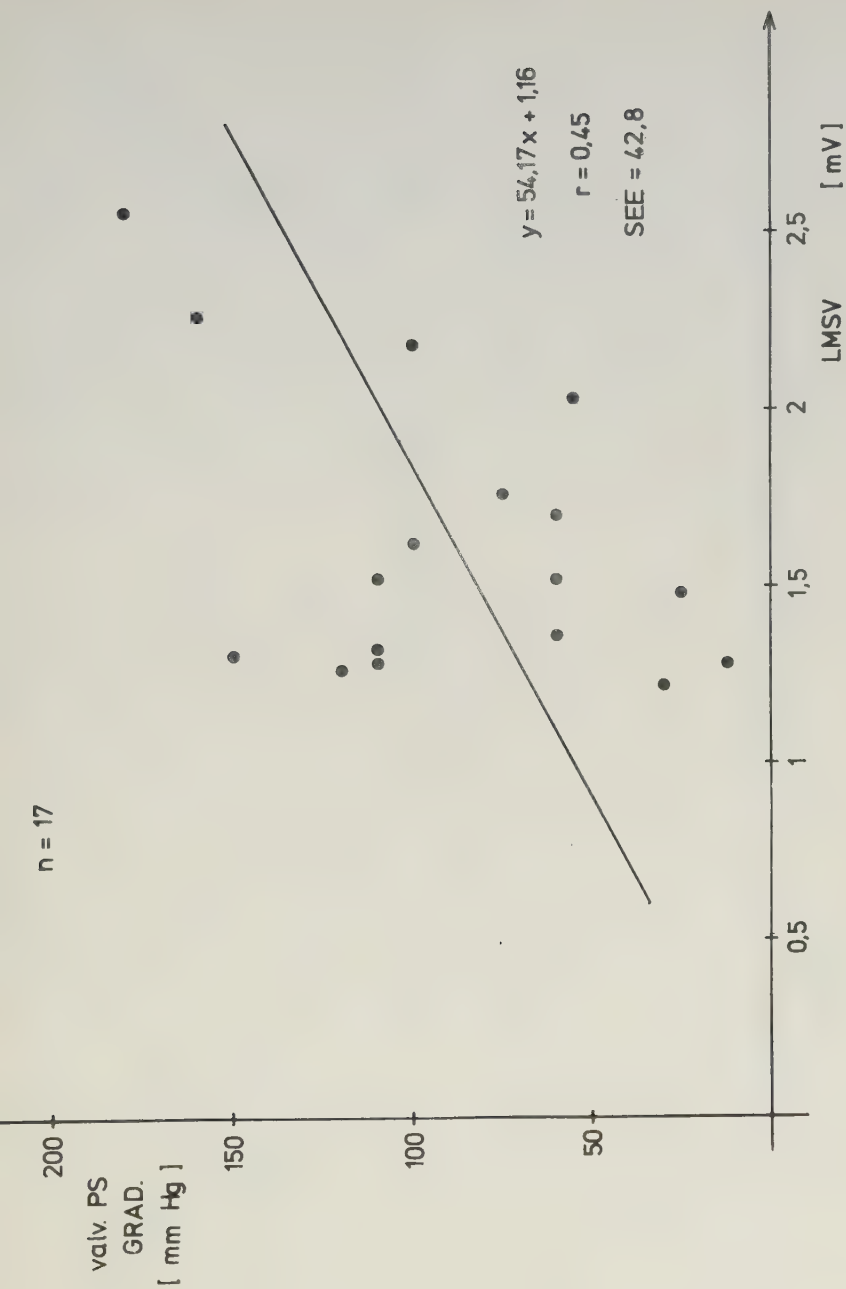


Abb. 9) Korrelation zwischen Druckgradient und linksmaximalem Raumvektor.

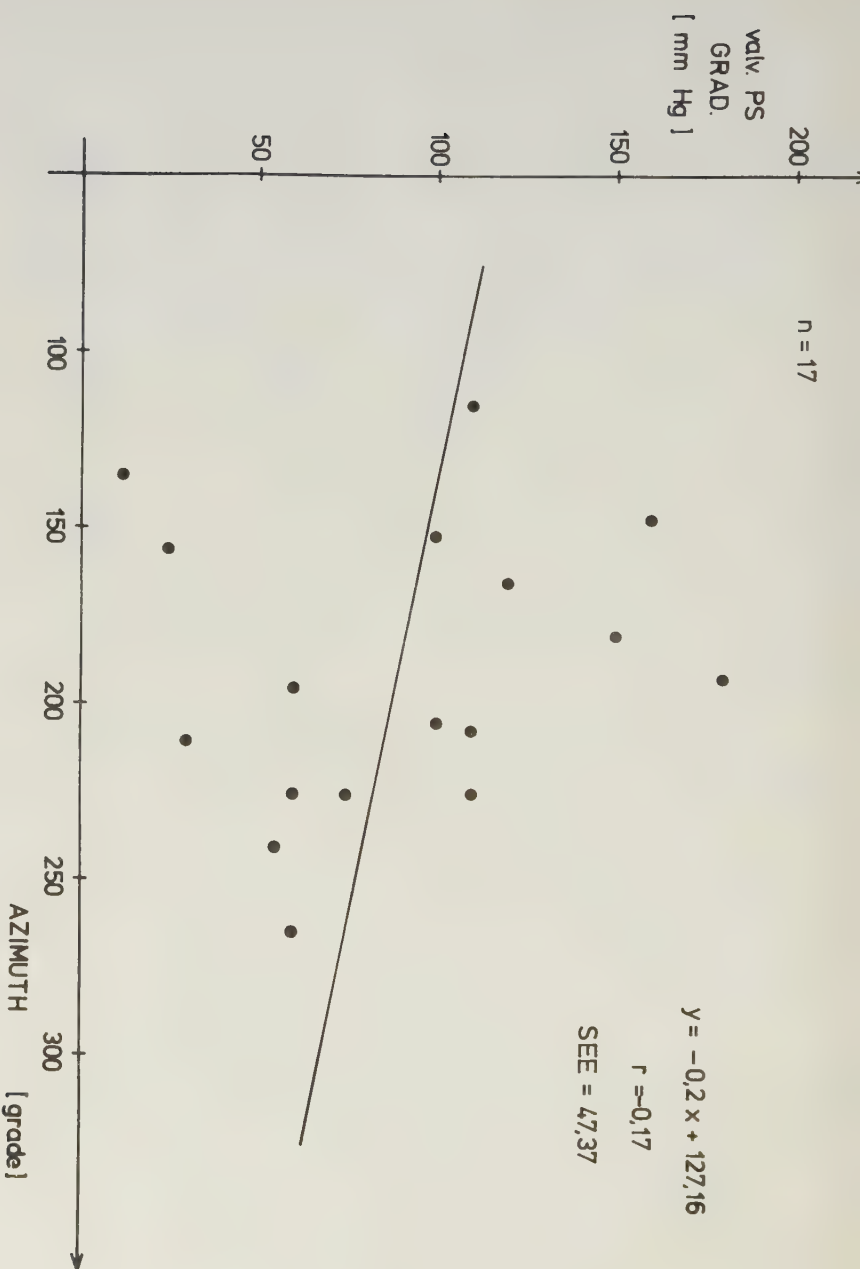


Abb. 11) Korrelation zwischen Druckgradient und Azimuth.

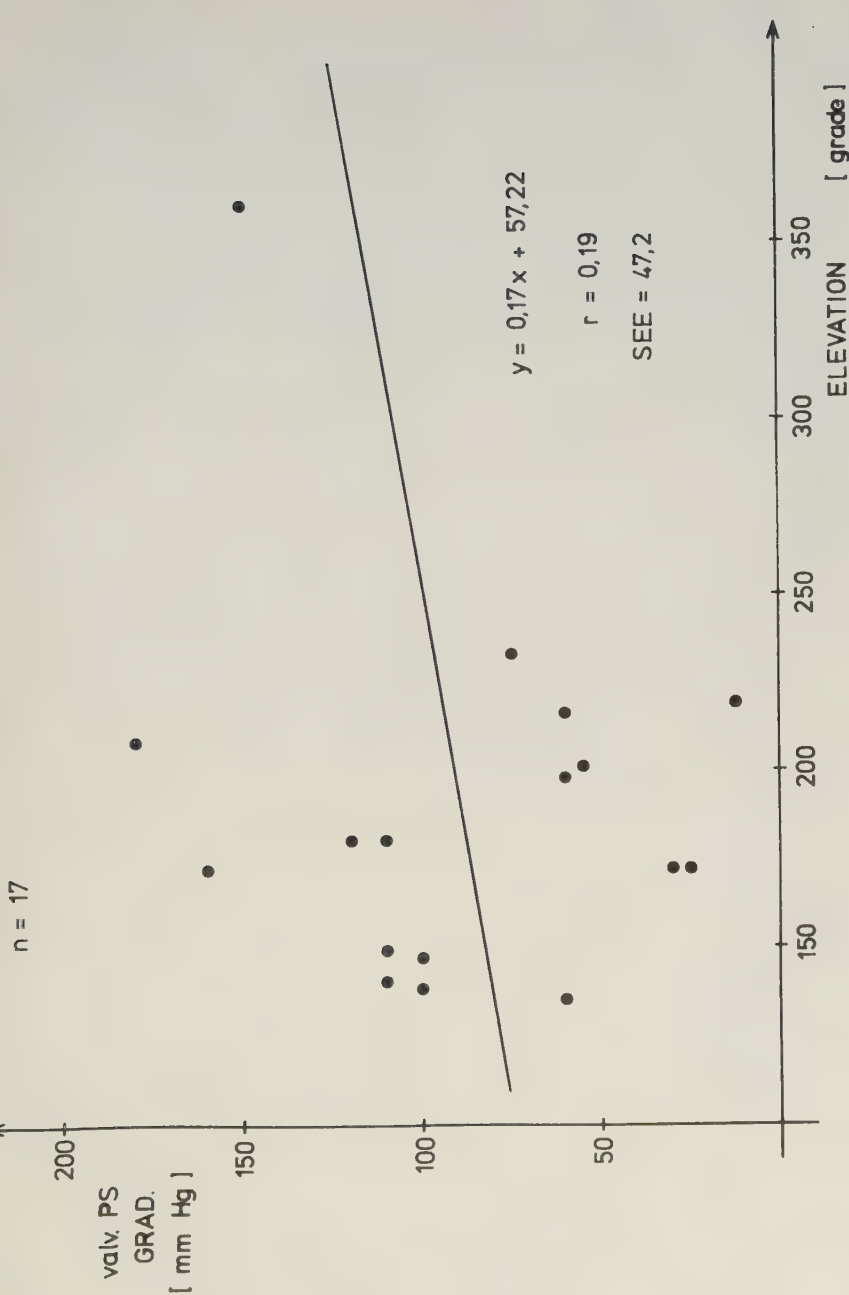


Abb. 13) Korrelation zwischen Druckgradient und Elevation.

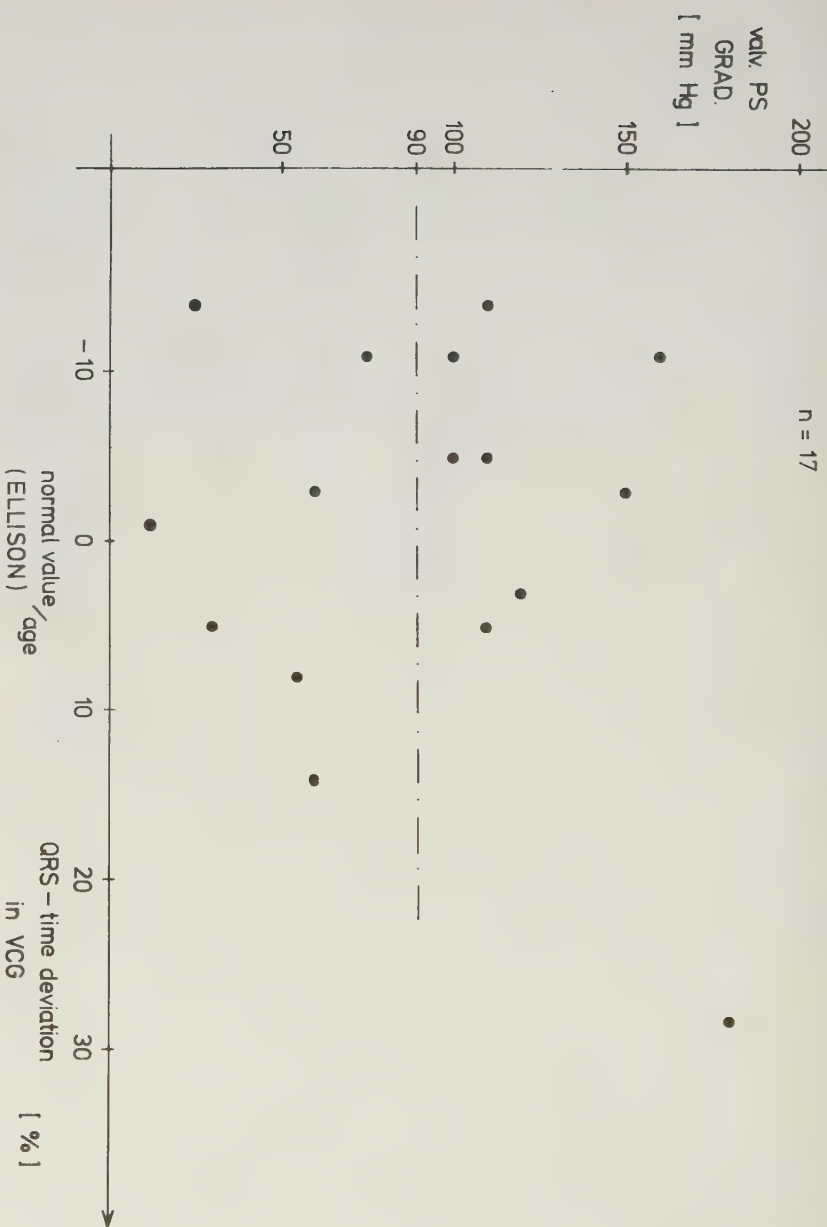


Abb. 14) Korrelation zwischen Druckgradient und den altersentsprechenden Normalwerten der QRS-Dauer.

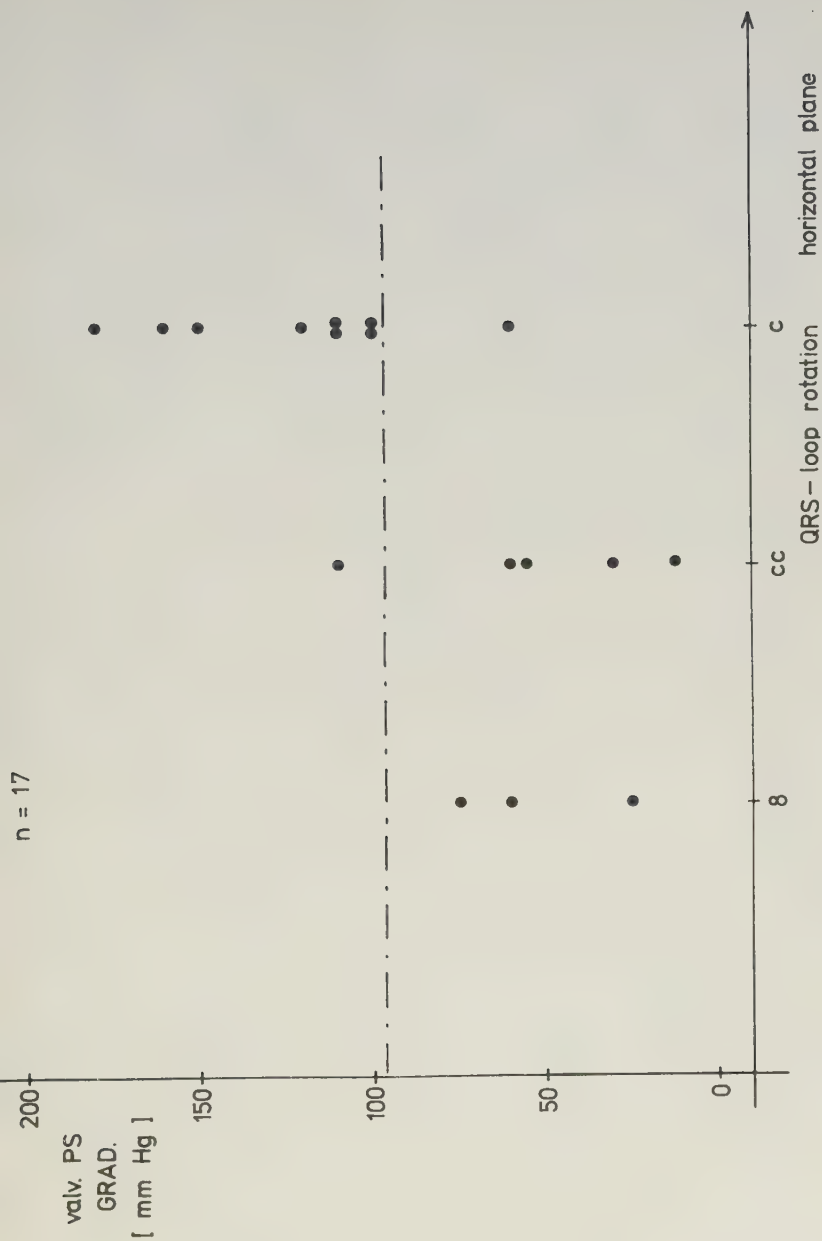


Abb. 15) Korrelation zwischen Druckgradient und Drehsinn der einzelnen Vektorschleifen.

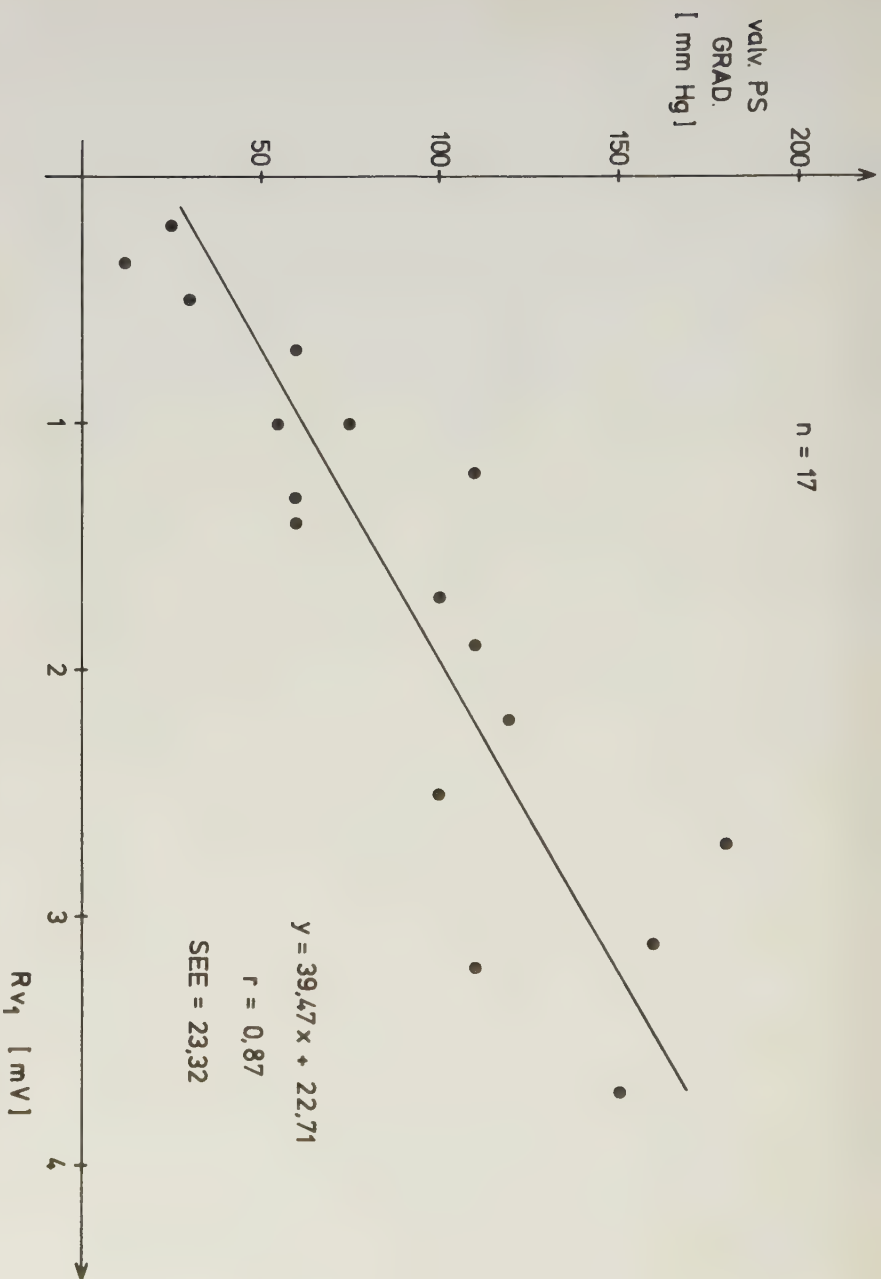


Abb. 16) Korrelation zwischen Druckgradient und der Höhe von R in V_1 .

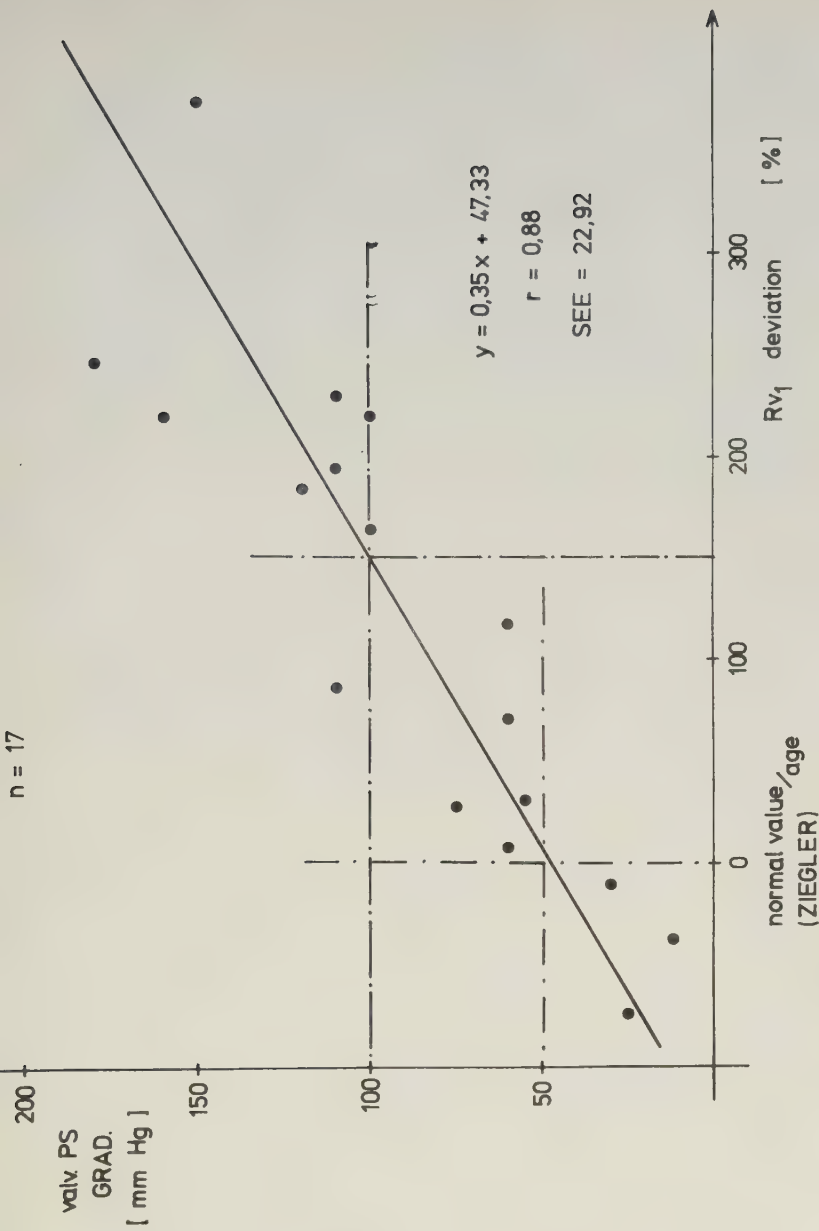


Abb. 17) Korrelation zwischen Druckgradient und der prozentualen Abweichung von den Ziegler-Normalwerten.

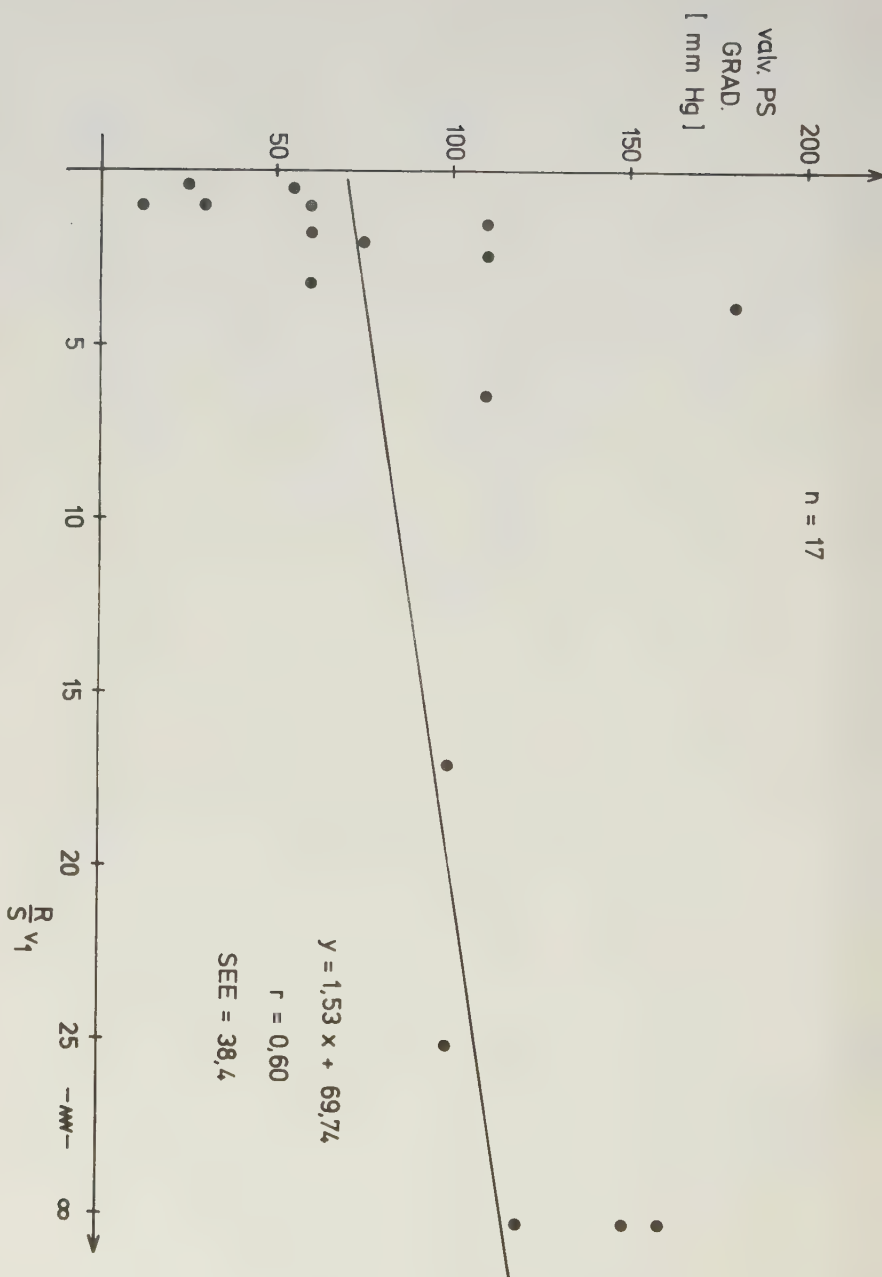


Abb. 18) Korrelation zwischen Druckgradient und R/S in V_1 .

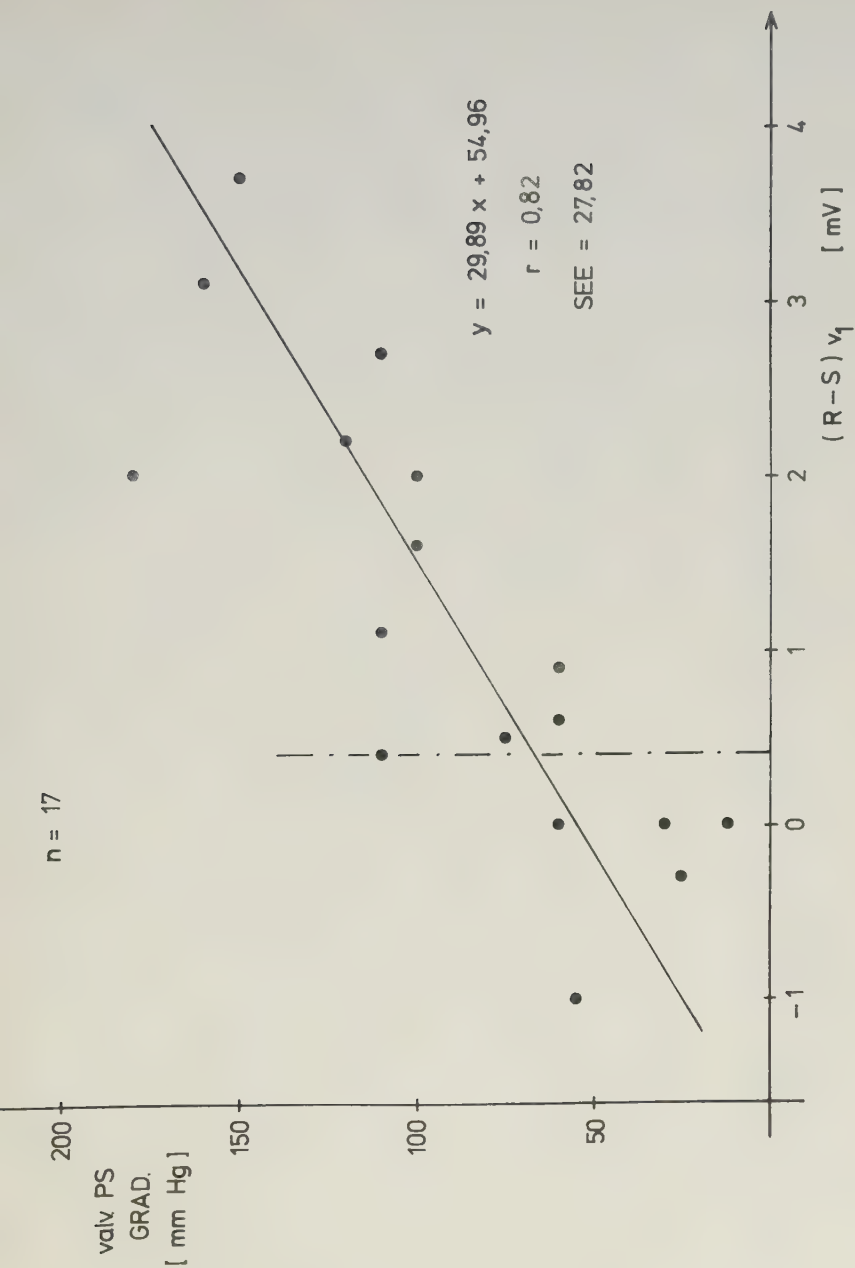


Abb. 19) Korrelation zwischen Druckgradient und R - S in v_1 .

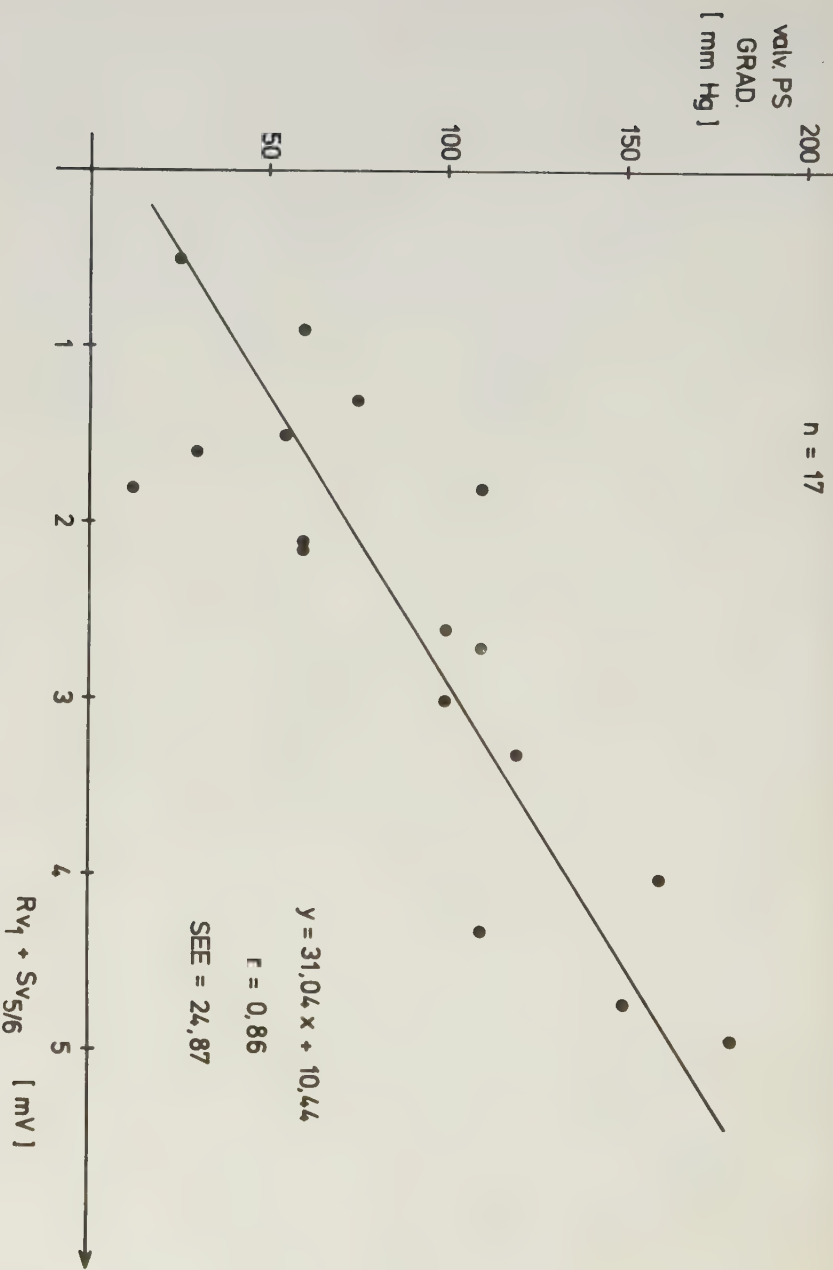


Abb. 20) Korrelation zwischen Druckgradient und R in $V_1 + S$ in $V_{5/6}$.

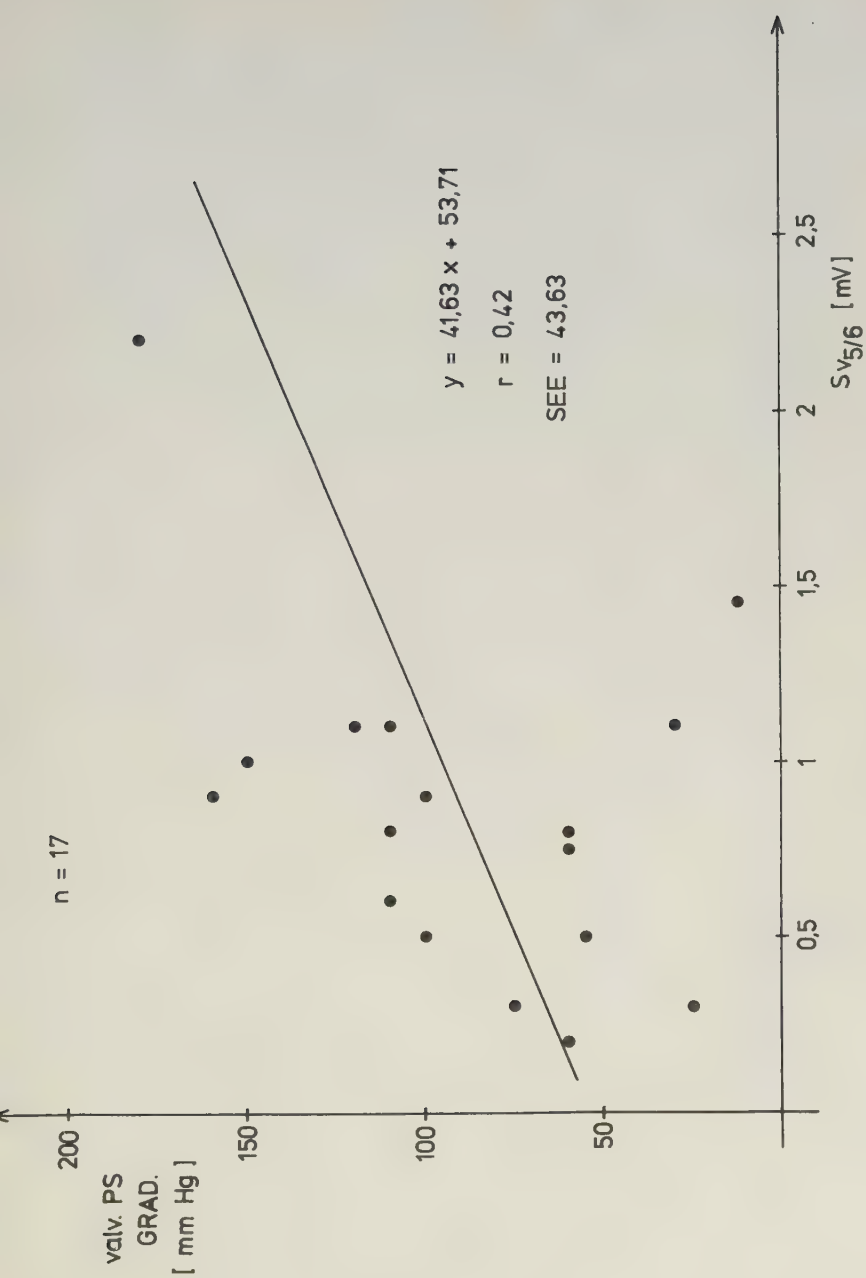


Abb. 21) Korrelation zwischen Druckgradient und S in $V_{5/6}$.

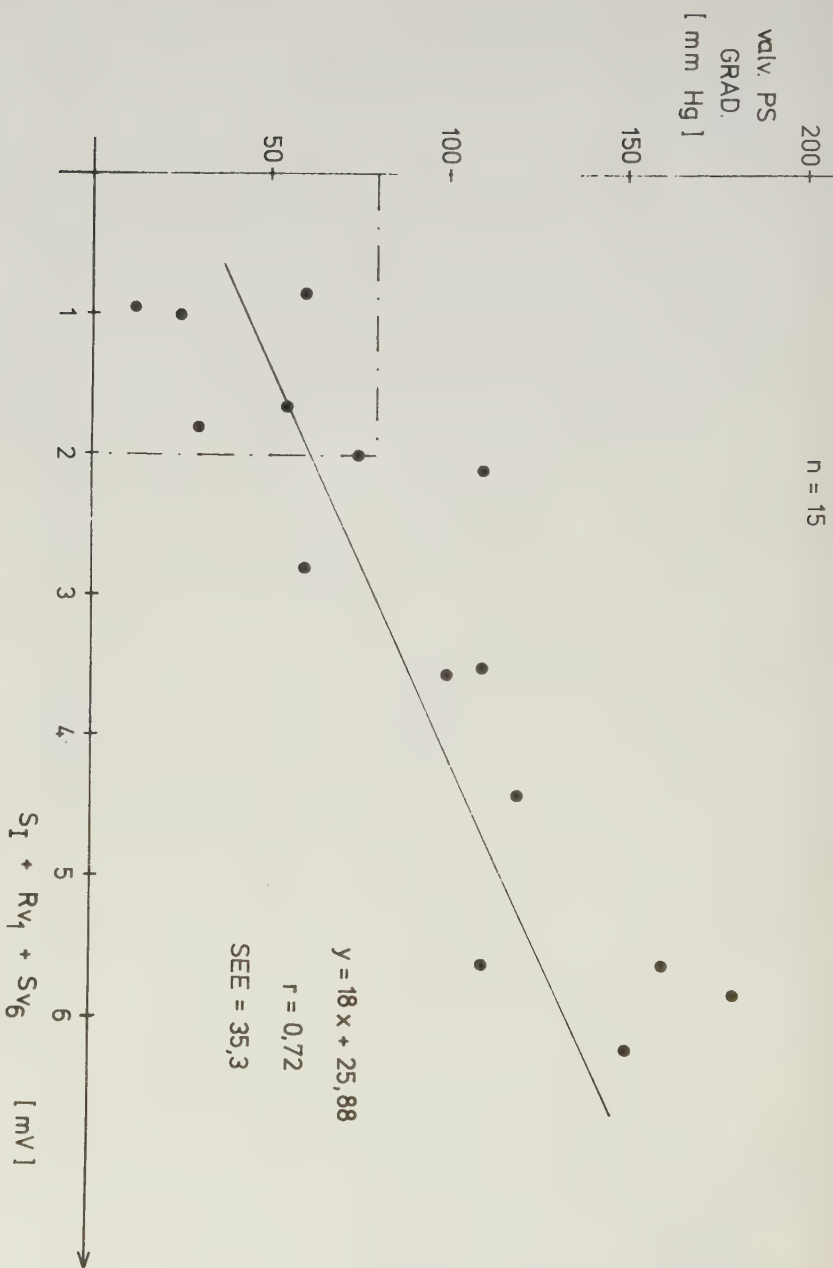


Abb. 22) Korrelation zwischen Druckgradient und $S_I + R_{V_I} + S_{V_6}$.

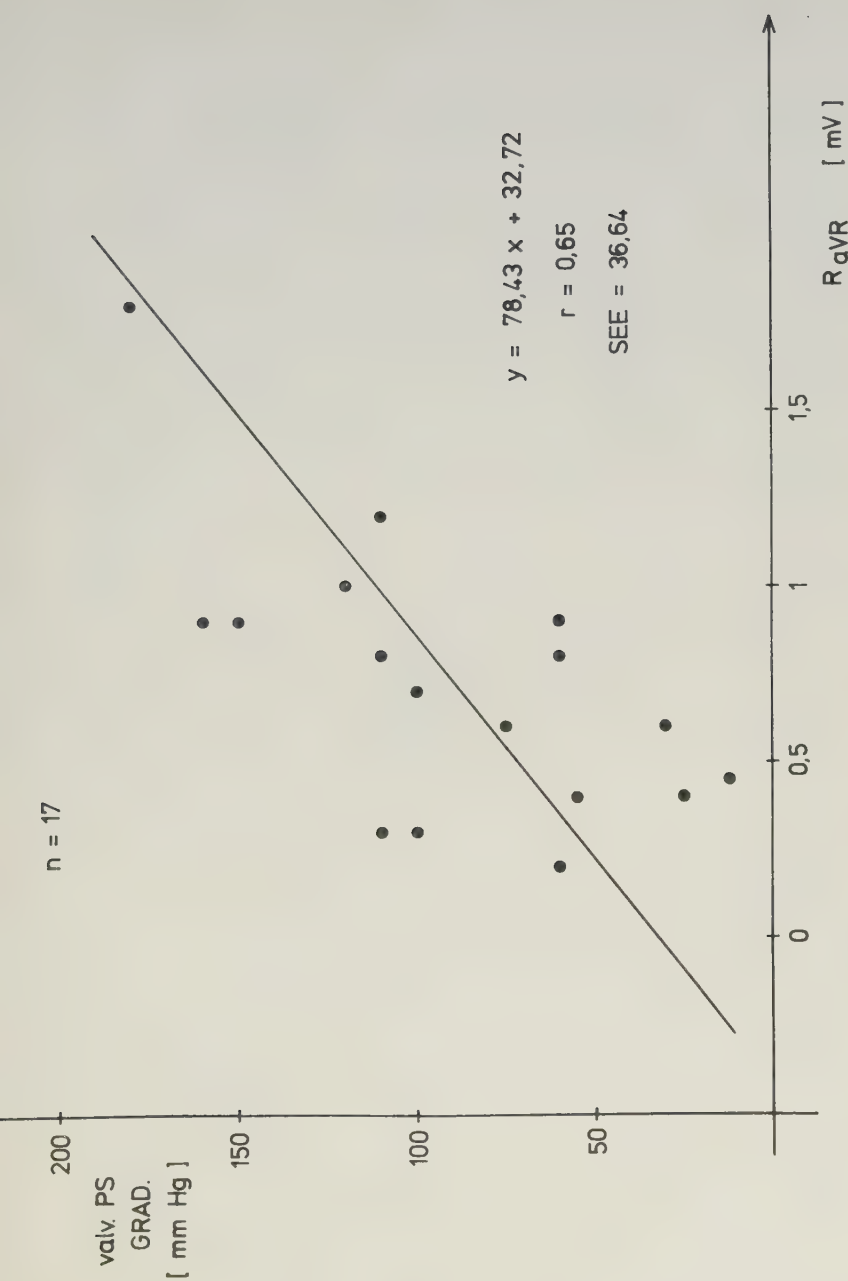


Abb. 23) Korrelation zwischen Druckgradient und R in aVR.

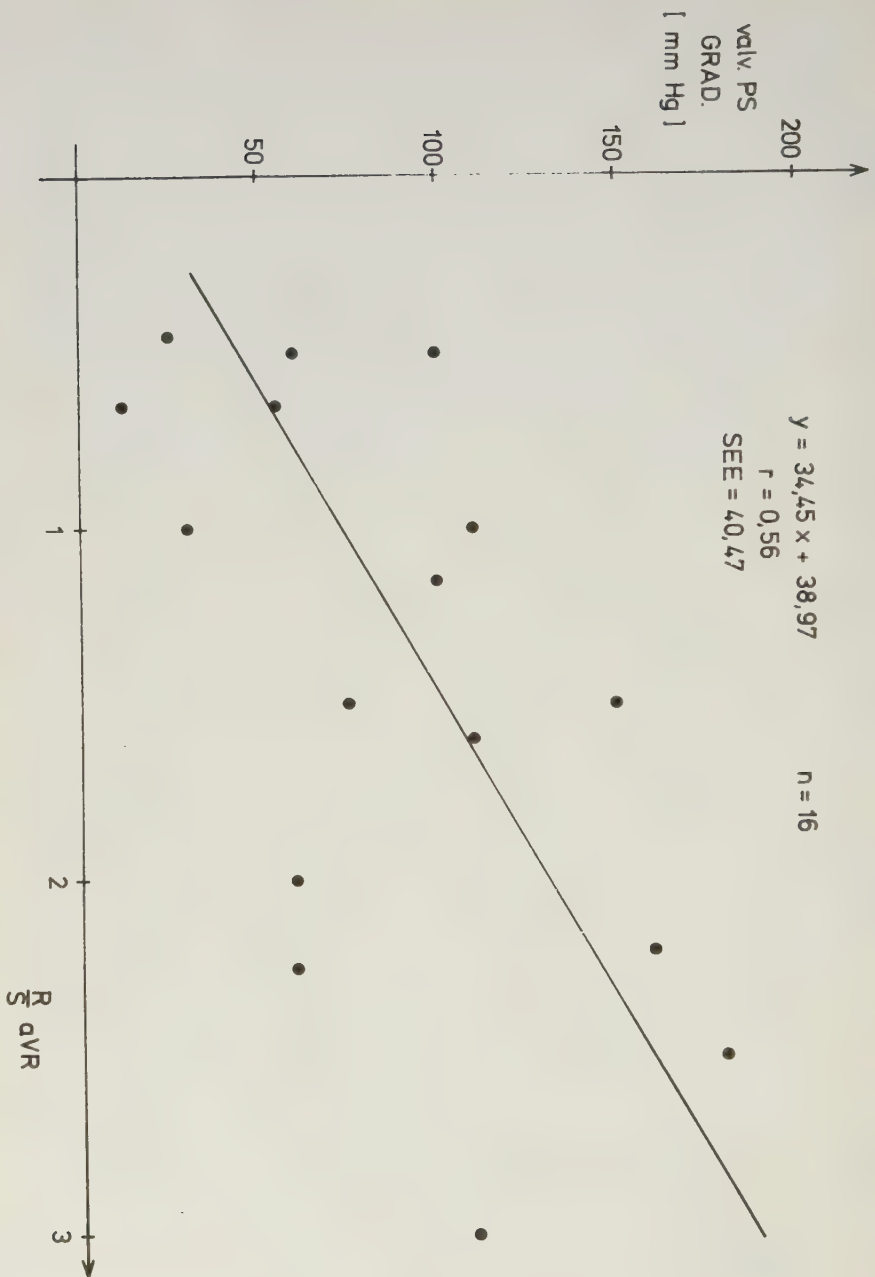


Abb. 24) Korrelation zwischen Druckgradient und R/S in avR.

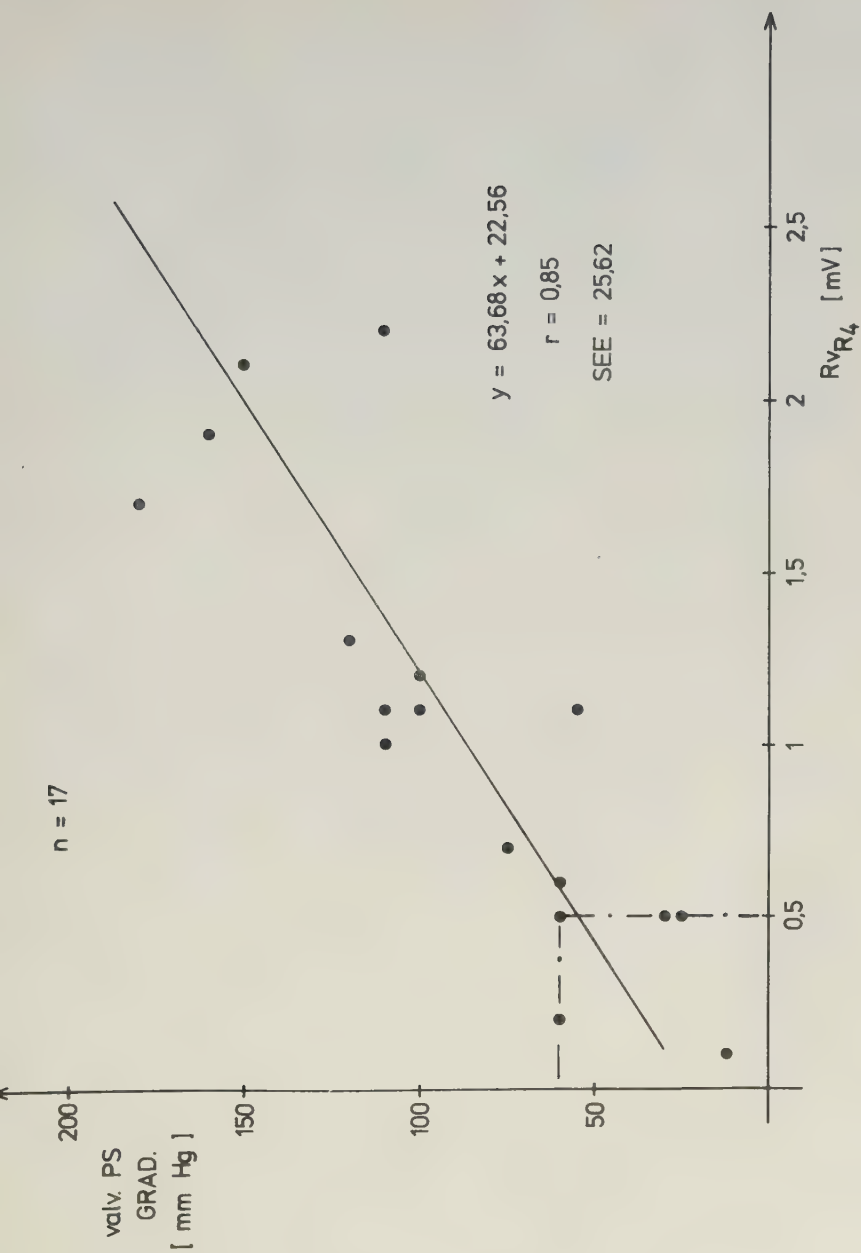


Abb. 25) Korrelation zwischen Druckgradient und R in VR_4 .

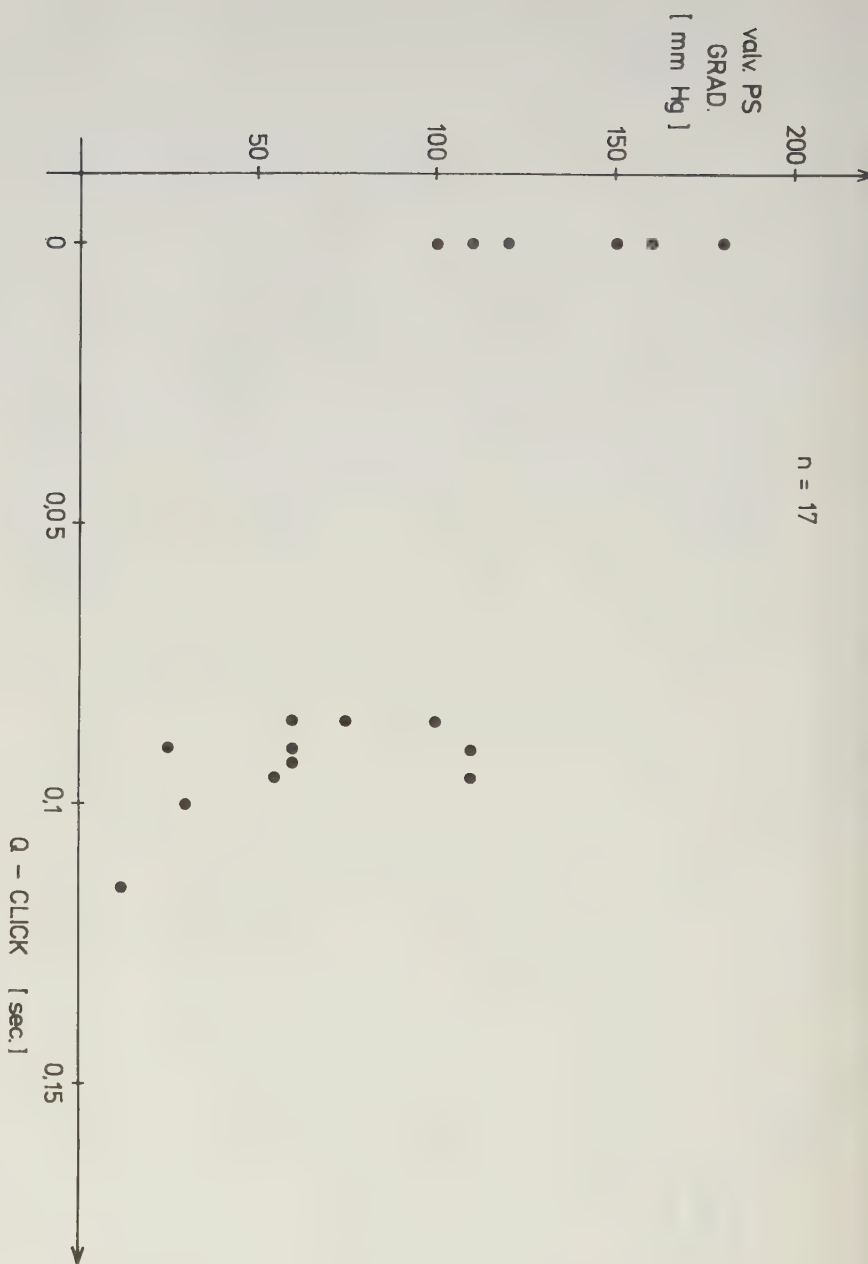


Abb. 27) Korrelation zwischen Druckgradient und dem Ejektions-Click.

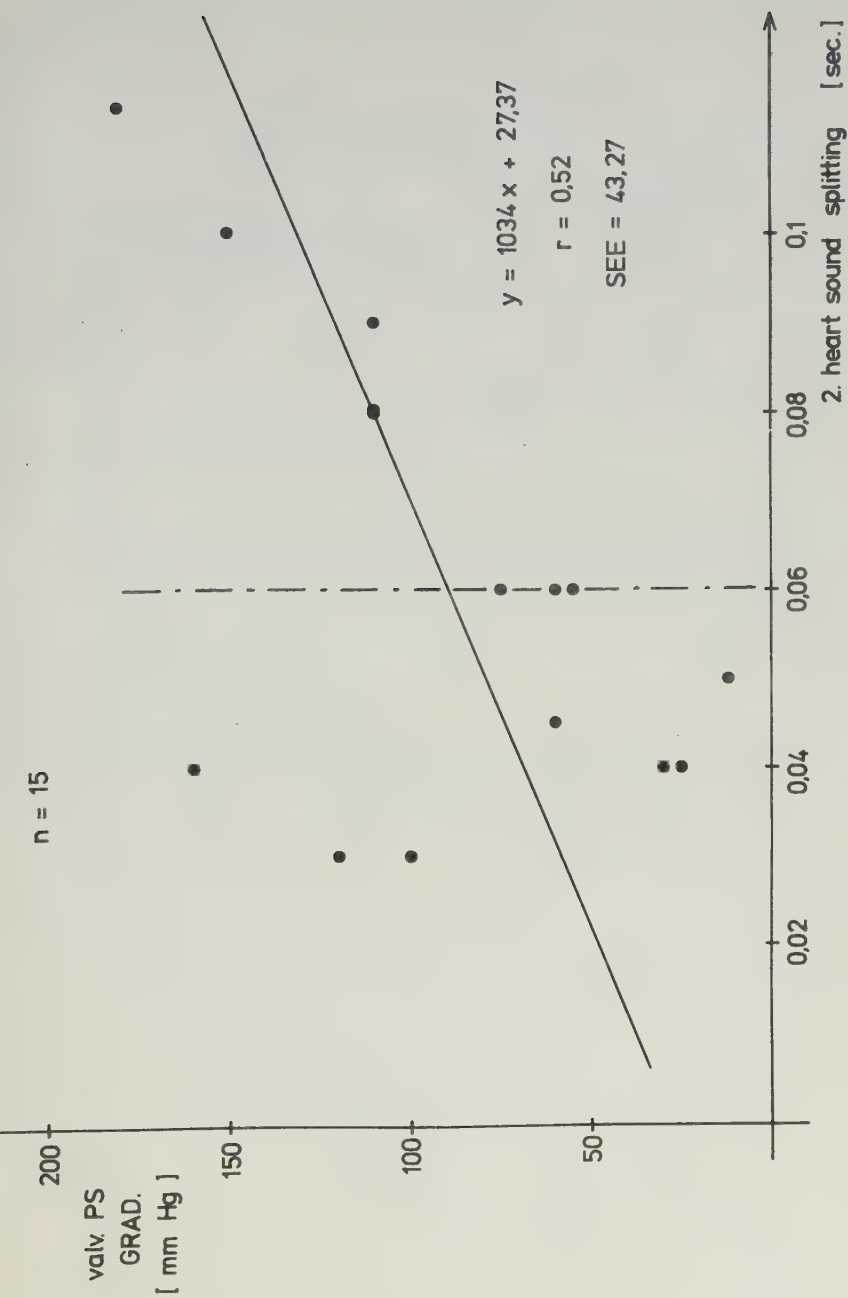


Abb. 28) Korrelation zwischen Druckgradient und der Länge der Spaltung des zweiten Herztones.

CRITERION valv. PS	HEART CATHETERISATION	
	no	yes
RMSV	< 1,1 mV	≥ 1,1 mV
$\frac{R}{S} v_1$	< 1	> 1
(R - S) v ₁	< 0,4 mV	> 0,4 mV
R v ₁	< 0,7 mV	> 0,7 mV
R I > R II > R III	-	+
Q - CLICK	> 0,07 sec	no click
loop rotation horizontal plane	cc, 8	c

Abb. 29) Aussagekräftigste Kriterien zur Indikationsstellung für eine Herzkatheteruntersuchung.

LITERATUR:

- 1) Abbot M.E.:
Atlas of Congenital Cardiac Disease.
Am. Heart Association, New York, 1936
- 2) Abrahams D.G., Wood P.:
Pulmonary Stenosis with Normal Aortic Root.
Brit. Heart J. B, 519, 1951
- 3) Bahler A.S., Teichholz L.E.:
Correlation of Electrocardiography and Echocardiography
in Determination of Left Ventricular Wall Thickness.
Am. J. of Cardiology 39: 189, 1977
- 4) Beyer J., Klinner W., Krcmar V.:
Früh- und Spätergebnisse nach verschiedenen Operations-
verfahren bei Pulmonalstenosen mit intaktem Ventrikel-
septum.
Thoraxchirurgie 26, 44, 1978
- 5) Borun E.R., Sapin S.O.:
Comparison of Frank, Cube and Conventional electrocardio-
graphic data with hemodynamic measurements in children
with pulmonic stenosis, in Vectorcardiography 2:
Proceedings of the IX International Symposium on Vector-
cardiography.
Amsterdam, 1971, North-Holland
Publishing Company, p. 560.
- 6) Braunwald E., Swan H.J.C.:
Cooperative Study on Cardiac Catheterisation.
Am. Heart Association.
Circ. 37, Suppl. III-III-1, 1968

- 7) Brink A.J., Neill C.A.:
The ECG in Congenital Heart Disease.
Circulation 12, 504, 1955
- 8) Brock R.C.:
Pulmonary Valvulotomy for the Relief of Congenital
Pulmonary Stenosis, Report of 3 Cases.
Brit. Med. J. 1, 1121, 1948
- 9) Carter W.A., Estes E.H.:
Electrocardiographic Manifestations of Ventricular
Hypertrophy.
Am. Heart J. 68: 173, 1964
- 10) Cayler G.C.:
Correlations of Clinical and Hemodynamic Findings
with the Severity of the Lesion.
Dis. Chest. 55: 368, 1969
- 11) Cayler G.C., Ongley P.:
Relation of Systolic Pressure in the Right Ventricle
to ECG.
The New England Journal of Medicine Vol. 258 N. 20,
May 1958
- 12) Celermeier J.M., Varghese P.J.:
Upright T-Wave in V_1 : A useful Diagnostic Sign of Mild
Pulmonic Valve Stenosis in Children.
Journal of Pediatrics 413, 1969
- 13) Cook-Sup-So:
Praktische Elektrokardiographie.
Selecta-Verlag, München 1974

- 14) Danielson G.U., Exhartros N.D.:
Pulmonic Stenosis with Intact Ventricular Septum.
Surgical Considerations and Results of Operation.
J. Morac. Cardiovasc. Surg. 61, 228, 1971
- 15) Edwards J.E., Carey L.S.:
Congenital Heart Disease.
W.B. Saunders Co. Vol. 2, Philadelphia 1965
- 16) Ellison R.C., Freedom R.M.:
Indirect Assessment of Severity in Pulmonary Stenosis.
Circulation, Supp. I, Vol. 56, Nr. 2, 1977
- 17) Ellison R.C., Restieaux:
Vectorcardiography in Congenital Heart Disease.
W.B. Saunders Co., Philadelphia, 1972
- 18) Emmanouillides G.C.:
Obstructive Lesions of the Right Ventricle and Pulmonary Arterial Tree.
In: Heart Disease in Infants, Children, and Adolescents.
Ed: A.J. Moss, F.H. Adams etal. Baltimore 1968 pp. 451
- 19) Farrú O., Duffan G.:
Die systolischen Klicks.
Zeitschrift für Kreislaufforschung.
61: 1160, 1972
- 20) Fowler R.S.:
Terminal QRS-Conduction Delay in Pulmonary Stenosis in Children.
1968, Amer. J. Cardiol., 21, 669

- 21) Gamboa R., Hugenholtz P.G., Nadas A.S.:
Corrected (Frank), Uncorrected (Cube), and Standard
Electrocardiographic Lead Systems in Recording Aug-
mented Right Ventricular Forces in Right Ventricular
Hypertension.
British Heart Journal 1966, 28, 62
- 22) Hancock E.W.:
The Ejection Sound in Aortic Stenosis.
Am. Heart J. 40: 569, 1966
- 23) Hugenholtz P.G., Gamboa R.:
Effect of Chronically Increased Ventricular Pressure
on Electrical Forces of the Heart.
Circulation, Vol. XXX, 511, Oct. 64
- 24) Joan A., Kallfelz H.C., Hungeland H.:
Neue Gesichtspunkte zur statistischen Korrelation hämo-
dynamischer und phonokardiographischer Befunde bei iso-
lierten Pulmonalstenosen.
Zeitschrift für Kreislaufforschung, Bd. 61, Heft 5,
S. 419, 1971
- 25) Jeffery R.F., Moller J.H., Amplatz K.:
The dysplastic pulmonary valve a new roentgenographic
Entity; with a discussion of the anatomy and radiology
of other types of valvular pulmonary stenosis.
Am. J. of Roentgenology 114, 322, 1972
- 26) Koretzky E.P., Moller J.H., et. al.
Congenital pulmonary stenosis resulting from dysplasia
of the valve.
Circulation 40, 43, 1969
- 27) Lichtlen P.:
Klinische Vektor-Elektrokardiographie.
Springer-Verlag, Zürich 1969

- 28) Luisada A., Mac Cannon D.:
The Phases of the Cardiac Cycle.
Am. Heart J. 83: 705, 1972
- 29) Moller J.H., Wennevold A., Lyngborg K.E.:
The natural history of Pulmonary Stenosis.
Long-term-follow-up with serial heart catheterization.
Cardiology 58, 193, 1973
- 30) Morris T., Bouhoutsos J.:
The Dangers of femoral and artery puncture and
catheterization.
Am. Heart J. 89: 2, 260, 1975
- 31) Nadas A.S.:
Pediatric Cardiology.
Philadelphia, W.B. Saunders Co. 1963
- 32) Okino H., Spencer M.P.:
Relationship between Blood Ejection and Pressure
Gradient across the Pulmonary Valve.
Fed. Proc. 21: 135, 1967
- 33) Penaloza D., Tranchesi J., Marsico F., Limón Lasón R.,
and Sodi-Pallares D.:
Vectorial analysis of electrocardiogram in right ventricular hypertrophy. I. Congenital heart disease with pure or associated pulmonary stenosis. Presented at Second Congress of Sociedad de Internos Residentes y Becarios del Instituto Nacional de Cardiología de Mexico, Acapulco, Mexico, April 21-24, 1954
- 34) Raftery E.B.:
A Cine-angiographic study of aortic valve dynamic.
Brit. Heart J. 27: 286, 1965

- 35) Rasmussen K., Sørland S.J.:
Prediction of Right Ventricular Systolic Pressure in
Pulmonary Stenosis from Combined Vectorcardiographic
Data.
Am. Heart J. Vol. 86, No. 3, 318-328, Sept. 73
- 35a) Reinhold J., Rudhe M.:
The Heart Sounds and Arterial Pulse in Congenital Aortic
Stenosis.
Brit. Heart J. 17: 327, 1955
- 36) Rudolph A.M., Cayler G.G.:
Cardiac catheterization in infants and children.
Pediatric Clin. North America
5: 907, 1958
- 37) Scherlis L., Koenker R.J.:
Pulmonary Stenosis.
Circulation XXVIII, 288, 1963
- 38) Silverman B.K., Nadas A.S.:
Pulmonary Stenosis with Intact Ventricular Septum:
Correlation of Clinical and Physiologic Data, with
Review of Operative Results.
Am. J. Med. 258: 979, 1958
- 39) Sokolow M., Lyon T.P.:
The Ventricular Complex in Ventricular Hypertrophy
as obtained by unipolar Precordial and Limb Leads.
Am. Heart J. 37: 161, 1949
- 40) Tsuguya Sakamoto, Mokuo Matsuhisa:
Echocardiogram and Phonocardiogram Related to the
Movement of the Pulmonary Valve.
Jap. Heart J. March 1975, p. 107

- 41) Ueda H., Kaito G., Sakamoto T.:
Clinical Phonocardiography.
Nanzando, Tokyo, 1963
- 42) Vectorcardiographic System 1520 A
Hewlett and Packard 1972
- 43) Waider W., Craige E.:
First Heart Sound and Ejection Sounds.
Am. J. of Card. 35: 365, 1975
- 44) Ziegler R.D.:
Electrocardiographic studies in Normal Infants.
Charles C. Thomas
Springfield, III, 1951

Lebenslauf

Am 28.7.51 wurde ich in Heilbronn als einziges Kind des Fabrikanten Hans Krayl und seiner Frau Irmgard, geb. Baumstark, geboren. Ich besitze die deutsche Staatsangehörigkeit. Ich wuchs im Hause meiner Eltern in Heilbronn auf.

Im Jahre 1963 ließen sich meine Eltern scheiden, daraufhin lebte ich bei meiner Mutter in Heilbronn.

Von 1958 - 1961 besuchte ich die Volksschule, von 1961 - 1970 das Theodor-Heuß-Gymnasium in Heilbronn, wo ich die Hochschulreife erwarb.

Im November 1970 begann ich das Studium der Humanmedizin an der Universität Saarbrücken, im weiteren Verlauf an der Universität Homburg/Saar, Universität Wien und Universität Mannheim, wo ich im November 1977 nach 14 Semestern die ärztliche Prüfung mit der Note gut ablegte.

Meine Medizinalassistentenzeit absolvierte ich vom 1.1.78 - 31.1.79 in der Chirurgischen und Medizinischen Abteilung des Kreiskrankenhauses Freising.

Am 31.1.79 erhielt ich die Approbation als Ärztin.

Vom 1.2.79 bis 31.3.79 arbeitete ich in der Medizinischen Abteilung des Kreiskrankenhauses Freising als Assistenzärztin.

Am 22.5.1976 heiratete ich Herrn Günter Oberprieler aus Freising.

Am 1.5.1979 wurde unser Sohn Nikolaus geboren.

Juni 1980

